

472/16/11/92 ✓

PERPOST.....	
Tgl. 25 SEP 1991	
Terima : H.	
No. Agenda P. 1028 /TA.	

TUGAS AKHIR

STUDI PENDAHULUAN PLTA BESAI DI PROPINSI LAMPUNG - SUMATRA



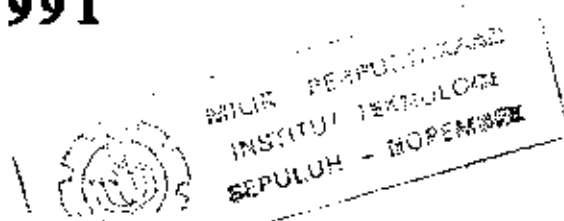
80
627.8
3/16
3-1
109

Disusun oleh :

Irra Indira Kustanrina

3883100715

BIDANG STUDI HIDROTEKNIK
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
1991



TUGAS AKHIR

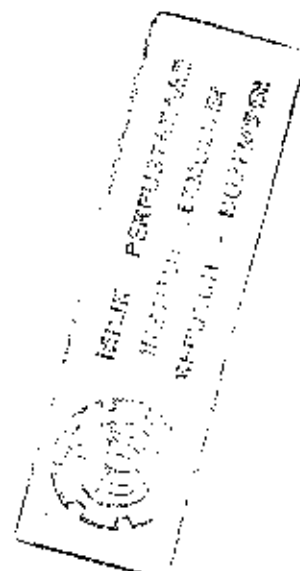
STUDI PENDAHULUAN PLTA BESAI DI PROPINSI LAMPUNG – SUMATRA

Mengetahui/Menyetujui

Dosen Pembimbing



T. SUDI WALUYO, M.Sc.



**BIDANG STUDI HIDROTEKNIK
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
1991**

ABSTRAK

Dengan semakin meningkatnya jumlah penduduk yang ada di Lampung, baik itu penduduk asli maupun transmigrasi dari luar Lampung, kebutuhan akan energi listrik tidak dapat dihindari lagi.

Sehubungan dengan hal tersebut diatas, maka diperlukan adanya pengembangan pusat-pusat listrik baru di propinsi Lampung. Sebagai langkah awal dilakukan beberapa studi pendahuluan yang menyangkut sumber listrik, letak serta type yang sesuai. Dari beberapa studi yang telah dilakukan diperoleh jawaban bahwa sungai Besai dapat dimanfaatkan sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Air dengan type Run Off River.

Pertanyaan berikutnya yang timbul adalah berapakah daya yang dikeluarkan PLTA Besai ?. Untuk menjawab pertanyaan tersebut maka perlu dilakukan analisa hidrologi untuk memperoleh besar debit yang terjadi sehingga kemudian dapat dihitung daya listrik yang dihasilkan. Disamping daya yang dihasilkan, untuk menentukan layak tidaknya suatu proyek dilakukan pula analisa ekonomi dari proyek tersebut.

KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya dalam segala usaha, hingga tersusunnya tugas akhir ini.

Tugas akhir ini merupakan persyaratan kurikuler wajib bagi mahasiswa Jurusan Teknik Sipil FTSP Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dalam memperoleh gelar kesarjanaan.

Judul yang dipilih dalam tugas akhir ini adalah :

STUDI PENDAHULUAN PLTA BESAI DI PROPINSI LAMPUNG - SUMATRA

Dalam kesempatan ini penyusun ingin menyampaikan rasa terima kasih yang tak terhingga besarnya kepada :

1. Orang tua, yang banyak memberikan bantuan moril maupun materiil.
 2. Bapak Ir. Sudiwaluyo, MSc, sebagai dosen pembimbing yang telah mengorbankan waktunya untuk memberikan bimbingan dalam penyusunan tugas akhir ini.
-

3. Ibu Ir. Anggrahini, MSc, sebagai ketua bidang studi hidroteknik yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan dalam penyusunan proposal tugas akhir.
4. Bapak Ir. Mohammad Sofyan, dari PPE - PLN yang banyak membantu dalam pengumpulan data dan literature.
5. Bapak dan Ibu Dosen Hidroteknik FTSP - ITS.
6. Sahabat, rekan-rekan dan semua pihak yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu.

Akhirnya penyusun menyadari bahwa penulisan tugas akhir ini masih jauh dari sempurna dan penyusun berharap semoga penulisan tugas akhir ini bermanfaat bagi pihak yang memerlukan maupun bagi penyusun sendiri.

Surabaya, Juli 1991
Penyusun,

IRRA INDIRA KUSTANRINA
3883100715

DAFTAR ISI

ABSTRAK

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	viii

BAB I. PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG	1
1.2. PERMASALAHAN	3
1.3. MAKSUD DAN TUJUAN	5
1.4. PEMBatasan MASALAH	6

BAB II. PENENTUAN DAM SITE DAN RENCANA TYPE PLTA

2.1. PENENTUAN DAM SITE	1
2.1.1. PERTIMBANGAN TOPOGRAFI	2
2.1.2. PERTIMBANGAN GEOLOGI	4
2.2. PENENTUAN TYPE DAM	8
2.3. RENCANA TYPE PLTA	10
2.3.1. TYPE PLTA	10
2.3.2. ALTERNATIF RENCANA TYPE PLTA	12

BAB III. ANALISA HIDROLOGI

3.1. UMUM	1
3.2. PERHITUNGAN DEBIT UNTUK PLTA	2



3.2.1. DEBIT RATA-RATA PLTA BESAI	2
3.2.2. DEBIT ANDALAN	6
3.3. PERHITUNGAN DEBIT BANJIR RENCANA	9
3.3.1. PERHITUNGAN CURAH HUJAN RATA-RATA MAXIMUM	9
3.3.2. PERHITUNGAN CURAH HUJAN RENCANA	13
3.3.3. HUJAN EFEKTIF	22
3.3.4. DISTRIBUSI HUJAN	23
3.3.4.1. BERDASARKAN DATA	23
3.3.4.2. BERDASARKAN PERUMUSAN	24
3.3.4.3. PEMILIHAN DISTRIBUSI CURAH HUJAN JAM-JAMAN	28
3.3.5. DEBIT BANJIR RENCANA	29
3.4. ANALISA SEDIMEN	43
3.4.1. HUBUNGAN DEBIT SEDIMEN DAN DEBIT ALIRAN	44
3.4.2. JUMLAH ANGKUTAN SEDIMEN	46
3.4.3. PENGENDAPAN SEDIMEN PADA DAM	49
BAB IV. STUDI PRA PERENCANAAN PLTA	
4.1. DEBIT DASAR PEMBANGKITAN	1
4.2. LENGKUNG KAPASITAS DAN LUAS DAERAH GENANGAN ...	2
4.3. PENENTUAN TINGGI MUKA AIR OPERASI	
4.3.1. INTAKE DAM	4
4.3.2. INTAKE	17

4.4. PERHITUNGAN DIMENSI WATERWAY	
4.4.1. HEAD RACE	18
4.4.2. SURGE TANK	20
4.4.3. PENSTOCK	25
4.5. POWER HOUSE DAN JENIS TURBIN	31
4.6. PERHITUNGAN PRODUKSI DAYA DAN ENERGI	32
 BAB V. ANALISA EKONOMI	
5.1. UMUM	1
5.2. PERHITUNGAN BIAYA PEMBANGUNAN	2
5.2.1. PERHITUNGAN ARUS BIAYA	7
5.3. PERHITUNGAN KEUNTUNGAN	8
5.4. PERHITUNGAN BCR	9
5.5. ALTERNATIF PEMBANGKIT TENAGA LISTRIK	11
5.5.1. PERHITUNGAN BIAYA PEMBANGKITAN PLTU	11
5.5.2. PERHITUNGAN BIAYA PEMBANGKITAN PLTA	13
 BAB VI. KESIMPULAN	
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

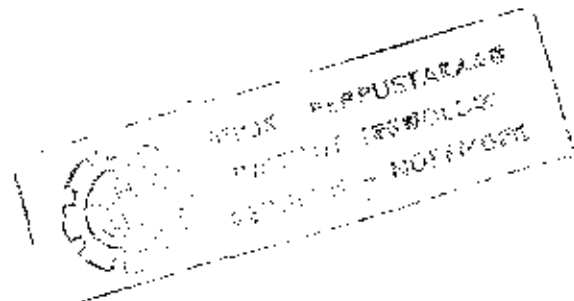
DAFTAR TABEL

- 3.1. Data debit rata-rata bulanan pada stasiun Petai
 - 3.2. Data debit rata-rata bulanan pada PLTA Besai
 - 3.3. Perhitungan debit andalan proyek Besai
 - 3.4. Perhitungan curah hujan rata-rata maximum daerah
 - 3.5. Pengolahan data tinggi hujan maximum tiap tahun cara Gumbel
 - 3.6. Perhitungan tinggi curah hujan rencana pada periode ulang tertentu cara Gumbel
 - 3.7. Pengolahan data tinggi hujan maximum tiap tahun cara Log Pearson Type III
 - 3.8. Perhitungan tinggi curah hujan rencana pada periode ulang tertentu cara Log Pearson Type III
 - 3.9. Perbandingan probabilitas tinggi curah hujan rencana dan alternatif pemilihan
 - 3.10. Pengujian kesesuaian distribusi hujan
 - 3.11. Perhitungan hujan efektif
 - 3.12. Data hujan jam-jaman pada stasiun automatic
 - 3.13. Perhitungan tinggi curah hujan jam-jaman dengan periode ulang tertentu
 - 3.14. Perhitungan besar curah hujan pada jam ke t berdasarkan perumusan
-

- 3.15. Perhitungan hidrograph banjir rencana 100 tahun dari data hujan stasiun automatic
 - 3.16. Perhitungan hidrograph banjir rencana 10 tahun dari data hujan stasiun automatic
 - 3.17. Perhitungan hidrograph banjir rencana 100 tahun dari perumusan distribusi hujan
 - 3.18. Perhitungan hidrograph banjir rencana 10 tahun dari perumusan distribusi hujan
 - 3.19. Hubungan debit aliran dan debit sedimen
 - 3.20. perhitungan angkutan suspended load tahunan
 - 4.1. Hubungan antara luas dan isi tampungan dengan elevasi
 - 4.2. Perhitungan rating curve pelimpah
 - 4.3. Perhitungan Flood routing
 - 5.1. Jadwal pengeluaran biaya pembangunan
 - 5.2. Perhitungan biaya
 - 5.3. Perhitungan keuntungan
-

DAFTAR GAMBAR

- 1.1. Peta lokasi
 - 1.2. Sistem transmisi wilayah IV
 - 2.1. Peta topografi
 - 2.2. Geologi proyek
 - 2.3. Geologi dam site
 - 2.4. Geologi waterway
 - 2.5. Geologi power house
 - 2.6. Peta lokasi quarry
 - 3.1. Lengkung durasi
 - 3.2. Thiesen polygon
 - 3.3. Hyetograph
 - 3.4. Hydrograph banjir rencana 100 tahun dari data hujan stasiun automatic
 - 3.5. Hydrograph banjir rencana 10 tahun dari data hujan stasiun automatic
 - 3.6. Hydrograph banjir rencana 100 tahun dari perumusan distribusi hujan
 - 3.7. Hydrograph banjir rencana 10 tahun dari perumusan distribusi hujan
 - 3.8. Grafik trap efisiensi
 - 4.1. Kurva beban
-



- 4.2. Grafik lengkung kapasitas dan luas
 - 4.3. Grafik koefisien debit dari pintu penguras
 - 4.4. Grafik koefisien limpahan dari berbagai type bendungan
 - 4.5. Grafik perhitungan routing
 - 4.6. Grafik koefisien kehilangan tinggi akibat penyempitan pipa
-

BAB I PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG

Sebagaimana kita ketahui bahwa Indonesia kaya akan sumber energi yang terdiri dari minyak, batu bara, tenaga air, panas bumi, gas alam dan sebagainya. Namun sumber energi yang sudah dikembangkan masih sedikit bila dibandingkan dengan jumlah sumber energi yang tersedia kecuali sumber energi minyak yang telah banyak dimanfaatkan potensinya. Disamping sebagai sumber pendapatan devisa negara, minyak digunakan untuk memenuhi kebutuhan bahan bakar dalam negeri. Mengingat sumber energi minyak tidak dapat diperbaharui maka perlu mengembangkan sumber energi lain untuk memenuhi kebutuhan energi listrik di dalam negeri.

Kebutuhan energi listrik dalam negeri dari tahun ke tahun terus bertambah sesuai dengan peningkatan jumlah penduduk dan taraf hidup penduduk Indonesia serta pembangunan di sektor industri. Oleh karena itu perlu adanya pemanfaatan dan pengembangan sumber energi alam selain minyak.

Salah satu sumber energi alam yang mendapatkan prioritas pembangunannya adalah *sumber energi tenaga air*, sebab tenaga air merupakan potensi yang cukup besar di Indonesia. Disamping itu dengan dibangunnya pembangkit listrik tenaga air ini berarti sasaran penghematan pemakaian bahan bakar di dalam negeri dapat terpenuhi.

Dalam usaha memanfaatkan sumber energi tenaga air, maka Indonesia yang memiliki sungai-sungai yang tersebar di seluruh kepulauan Nusantara, merupakan sumber tenaga air yang cukup potensial untuk dikembangkan. Air sungai tersebut dapat dibendung untuk berbagai macam keperluan antara lain untuk irigasi, PLTA, perikanan dan lain sebagainya.

Adapun salah satu dari sumber energi tenaga air yang dapat dikembangkan untuk PLTA adalah sungai Besai. Pada sungai tersebut direncanakan suatu proyek pembangkit listrik tenaga air yang terletak pada bagian hulu dari sungai Besai yang merupakan anak sungai dari sungai Tulang Bawang dan bermuara di laut Jawa. Rencana proyek PLTA Besai ini terletak sekitar 60 km ke arah barat dari kota Kotabumi, Kecamatan Sumberjaya, Kabupaten Lampung Utara (gambar 1.1.).

Unit PLN yang terkait pada proyek ini adalah PLN wilayah IV dan pusat beban utama adalah Palembang di propinsi Sumatra Selatan, Tanjungkarang di propinsi Lampung, Jambi di propinsi Jambi dan Bengkulu di propinsi Bengkulu.

1.3. MAKSUD DAN TUJUAN STUDI

Dengan melihat masalah tersebut maka salah satu usaha untuk memenuhi dan menambah tersedianya daya listrik yang ada sekarang adalah mengembangkan semaksimal mungkin potensi sungai Besai di propinsi Lampung.

Sebagai Langkah awal untuk merealisasikan pemanfaatan potensi air sungai Besai untuk membangkitkan PLTA, maka perlu kiranya diadakan studi tentang kemungkinan bila diadakan pembangunan PLTA Besai guna :

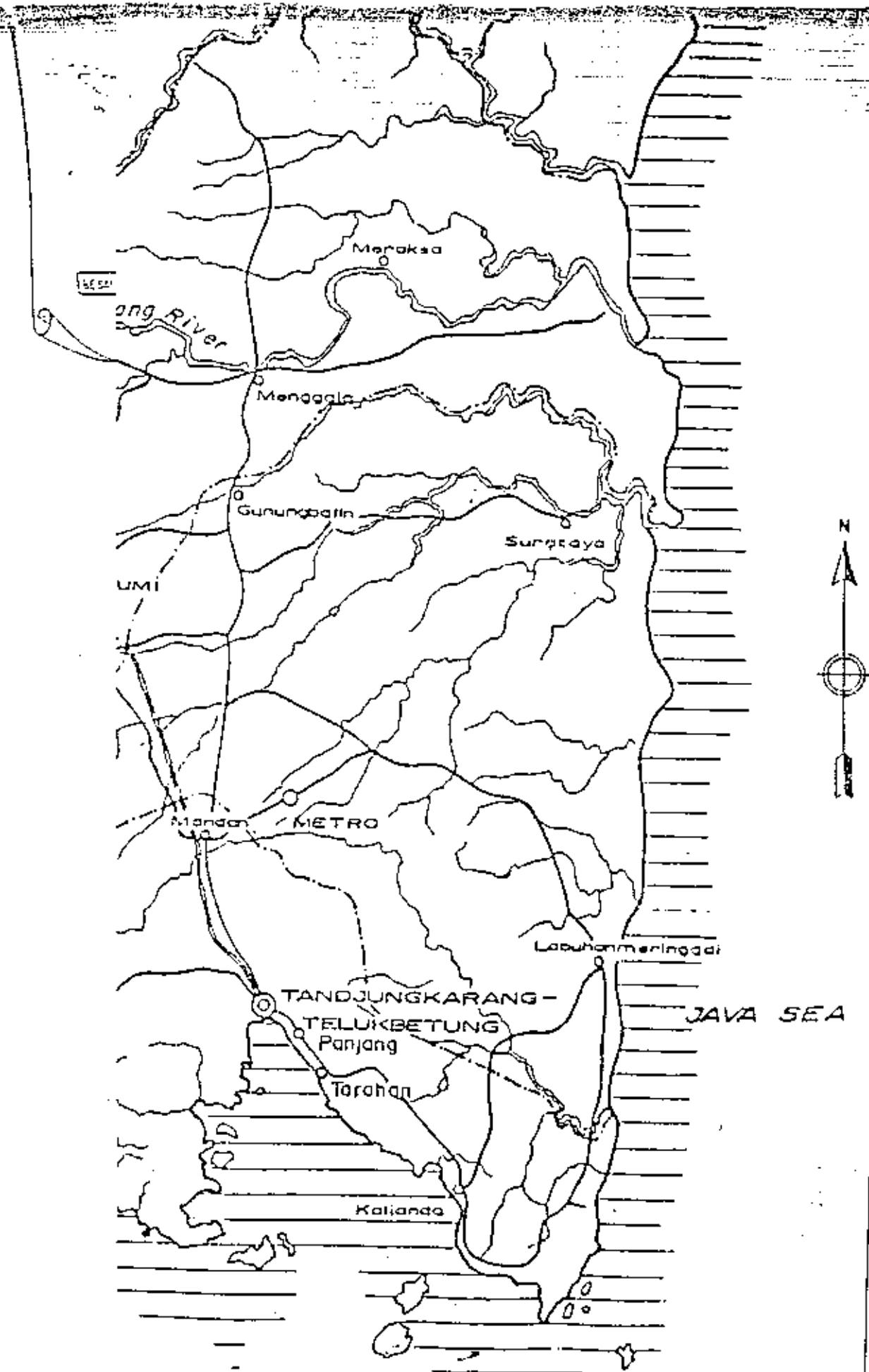
- mendapatkan gambaran mengenai potensi tenaga air yang bisa dibangkitkan menjadi tenaga listrik
 - mendapatkan gambaran mengenai konstruksi dan fasilitas yang diperlukan dalam usaha pembangkitan tenaga listrik secara teknis.
-

1.4. PEMBATAAN MASALAH

Dalam menyelesaikan tugas akhir yang berjudul " *studi pendahuluan PLTA Besai dipropinsi Lampung - Sumatra* ", pembahasan akan ditekankan pada masalah alternatif yang menguntungkan untuk type dam dan PLTA, Dengan demikian pembahasan akan mengarah ke *kapasitas pembangkitan, sedangkan untuk konstruksi dan fasilitas pembangkitan tenaga listrik akan ditinjau secara garis besar.*

Untuk lebih jelasnya lingkup pembahasan meliputi :

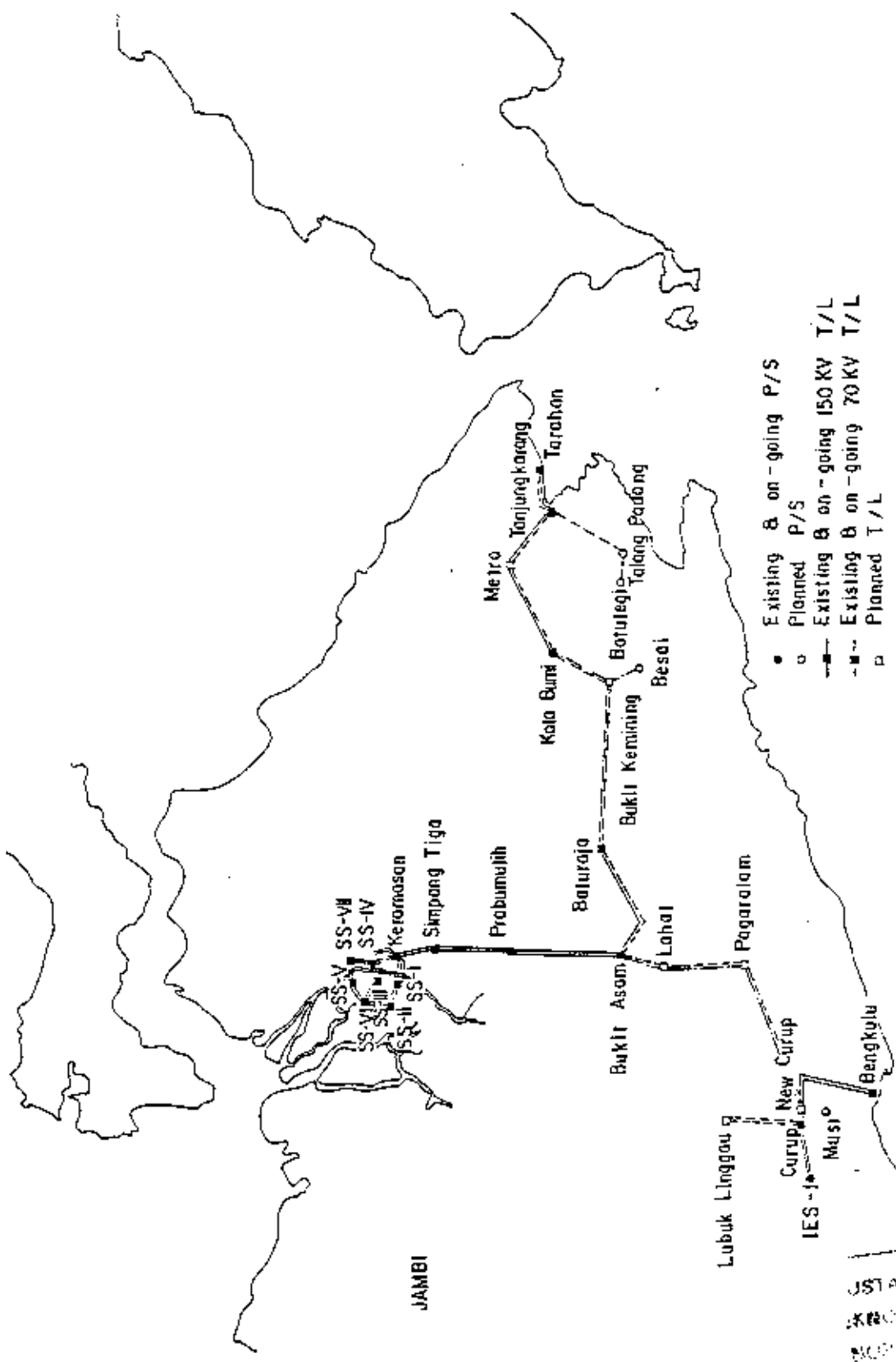
1. Penentuan dam site dan rencana type PLTA, ditinjau atas pertimbangan-pertimbangan :
 - topografi
 - geologi.
 2. Analisa hidrologi untuk mengetahui debit andalan dan banjir rencana.
 3. Rencana konstruksi dan fasilitas pembangkitan.
 4. Analisa ekonomi berdasarkan biaya pembangunan proyek dan keuntungan yang didapat dari hasil pembangunan proyek Besai dan dibandingkan dengan pusat listrik lainnya.
-



GAMBAR 1.1.

ber gambar : Dinas Survey PLN

PETA IYAS



- Existing & on-going P/S
- Planned P/S
- Existing & on-going 150 KV T/L
- - - Existing & on-going 70 KV T/L
- Planned T/L

GAMBAR 1.2.

SISTEM TRANSMISI WILAYAH IV

sumber gambar : Dinas Survey PLN

USTAKA
KROLOGI
NUPIN

Sampai saat ini pusat beban utama wilayah IV seperti Palembang, Tanjungkarang, Jambi, Bengkulu masih berdiri sendiri satu dengan lainnya, kecuali kedua sistem transmisi dari Bukit Asam Palembang dan Tes-Bengkulu.

Pada pengembangan proyek selanjutnya, pusat beban utama pada propinsi Lampung seperti Tanjungkarang, Tarahan, Metro dan kotabumi (gambar 1.2.) akan menggunakan sistem interkoneksi, dan sistem power supply Lampung akan dihubungkan dengan Sumatra Selatan melalui sistem power supply Baturaja. Pada proyek PLTA Besai ini akan dihubungkan dengan sistem transmisi di Bukit Kemuning untuk mensupply tenaga listrik ke sistem power supply Lampung.

1.2. PERMASALAHAN

Pertumbuhan penduduk di Indonesia cenderung meningkat dari tahun ke tahun. Tak luput pula pertumbuhan penduduk untuk daerah propinsi Lampung sangat tinggi, yang juga disebabkan oleh adanya transmigrasi yang diprakarsai pemerintah Indonesia.

Dengan meningkatnya pertumbuhan penduduk ini maka kebutuhan akan industri meningkat sehingga menyebabkan kebutuhan akan tenaga listrik semakin bertambah pula.

BAB II

PENENTUAN DAM SITE DAN RENCANA TYPE PLTA

2.1. PENENTUAN DAM SITE

Sebelum merencanakan suatu proyek PLTA diperlukan data-data yang dapat memberikan gambaran di sekitar proyek mengenai lokasi, topografi, kondisi geologi, material konstruksi, dan data-data lainnya.

Data-data ini diperoleh melalui survey dan investigasi, pengumpulan data-data tersebut hendaknya dilakukan dengan cermat dan teliti. Apabila data yang diperoleh kurang menggambarkan keadaan setempat akan sangat merugikan langkah-langkah selanjutnya.

Dalam pemilihan lokasi dam yang cukup ideal agar berdaya guna yang cukup optimal, maka perlu kiranya diadakan beberapa pertimbangan mengenai topografi dan geologi.

2.1.1. PERTIMBANGAN TOPOGRAFI

Debit dan tinggi jatuh (head) adalah dua faktor utama yang menentukan besarnya kapasitas pembangkitan dalam suatu PLTA. Karenanya dalam pemilihan letak as dam haruslah diusahakan agar kedua hal tersebut mencapai sebesar-besarnya tanpa mengabaikan unsur lain, sebab bertambahnya head itu sering kali diikuti dengan membesarnya volume bendungan, luas dari daerah genangan dan bertambah panjangnya waterway. Sehingga pertambahan tinggi jatuh (head) tersebut belum tentu membawa keuntungan secara ekonomis.

Jadi dalam pemilihan dam site didasarkan pada faktor-faktor sebagai berikut :

1. Untuk memperoleh bendungan yang paling ekonomis, hendaknya dipilih penampang melintang sungai yang sempit sehingga bendung yang akan dibangun pendek.
 2. Disamping itu dipilih lokasi yang baik untuk menampung air yaitu dengan sedikit pembendungan akan diperoleh kapasitas penampungan air dan head yang besar.
 3. Luas daerah yang tergenang sekecil mungkin dan kurang berpotensi untuk pengembangan dari segi ekonomi dan sosial masyarakat.
 4. Dipilih pada daerah yang mempunyai persediaan material memenuhi syarat baik kuantitas maupun kualitasnya sebagai bahan-bahan konstruksi.
-

5. Dipilih pada daerah yang mempunyai angkutan sedimen yang minimum, ini sangat besar artinya sehubungan dengan umur efektif bangunan tersebut. Semakin besar angkutan sedimen di daerah tersebut, makin cepat waduk akan terisi bahan endapan.

6. Sebaliknya lokasi dekat dengan prasarana jalan yang sudah ada untuk memudahkan transportasi material konstruksi, peralatan, keamanan dan keperluan lainnya.

Untuk memilih lokasi bendungan yang ideal sangatlah sulit, karenanya faktor yang satu dengan yang lainnya saling berkaitan. Berdasarkan peta topografi (gambar 2.1-), letak intake dam Besai direncanakan pada bagian sungai Besai yang lurus dengan kemiringan yang landai yaitu 1/170 dan kemiringan ini kontinyu sampai sekitar 200 m dari rencana as dam. Kemudian sungai menjadi terjal dengan kemiringan 1/30 ke arah power house yang direncanakan, dengan demikian dapat memanfaatkan tinggi jatuh (head) yang ada.

Letak intake dam yang direncanakan ini hanya sekitar 1,5 km dari desa dan dekat jalan utama yang menuju ke arah barat laut propinsi Lampung dan juga dekat jalan yang biasa dilalui penduduk dari jalan beraspal menuju ke perkebunan kopi, sehingga memungkinkan untuk mobilitasi. Pelabuhan yang terdekat adalah pelabuhan Panjang yang letaknya sekitar 200 km dari lokasi proyek. Pelabuhan ini memungkinkan untuk bongkar muat material konstruksi dan peralatan yang akan digunakan dalam pelaksanaan nanti.

2.1.2. PERTIMBANGAN GEOLOGI

Dalam menentukan lokasi suatu dam salah satu faktor yang harus diperhitungkan adalah *kekuatan tanah dasar* dimana dam akan dibangun. Karena tanah inilah yang nantinya akan menahan berat dam dan perlengkapannya. Disini diusahakan tanah dasar di bawah konstruksi cukup kuat memikul beban rencana dengan atau tanpa perbaikan. Hal tersebut dimaksudkan selain untuk menyederhanakan pekerjaan juga untuk menekan biaya konstruksi.

Ketidakberesan pada konstruksi bendungan pada umumnya disebabkan oleh kesalahan dalam memperhitungkan keadaan tanah dasar/pondasi. Kesalahan itu bisa mengakibatkan antara lain :

1. Terjadi penurunan pada sebagian atau seluruh dasar pondasi, sehingga akan mengganggu fungsi bangunan pelengkap.
 2. Bila penurunan terjadi pada rumah generator, maka fungsi alat-alat pembangkit tenaga listrik akan terganggu bahkan bisa sampai rusak.
 3. Retak atau pecahnya tubuh dam akan membahayakan daerah sekitar dam bahkan bisa sampai sepanjang aliran sungai sebelah hilir dam.
-

Disamping hal tersebut diatas, pemilihan tempat pengambilan bahan timbunan secara pasti (quarry dan borrow pit), karena penentuan hal diatas sangat mempengaruhi biaya. Dalam studi pendahuluan ini untuk quarry dan borrow area hanya ditunjukkan tempat-tempat yang sekiranya bisa memenuhi syarat teknis saja.

Secara umum kondisi geologi di daerah proyek (gambar 2.2.) terdiri dari 4 formasi yaitu :

1. Formasi Base Rock

Formasi ini terletak paling bawah yang terdiri dari :

- tuff breccia, meliputi batuan Tuff breccia dengan tuffs, tuffaceous sandstone dan lava.

Acidic tuff, meliputi batuan Fine tuffs dan pumice tuffs.

Pada formasi ini mempunyai koefisien permeabilitas antara $1,0 \times 10^{-5}$ cm/dt sampai $2,2 \times 10^{-4}$ cm/dt atau rata-rata $5,9 \times 10^{-5}$ cm/dt dan unconfined compressive strength (qu) antara 18 kg/cm^2 sampai 31 kg/cm^2 atau rata-rata 24 kg/cm^2 serta nilai N dari Standard Penetrasi Test antara 7 sampai 14.

2. Formasi Intermediate layer

Formasi ini terdiri dari batuan Mud flow deposits, andesit lava beds, tuff breccia, tuffs, dan tuffaceous mudstones.

Pada formasi ini mempunyai koefisien permeabilitas antara $2,4 \times 10^{-5}$ cm/dt sampai $3,5 \times 10^{-4}$ cm/dt atau rata-rata

$1,4 \times 10^{-4}$ cm/dt dan unconfined compressive strength (q_u) antara 7 kg/cm^2 sampai 35 kg/cm^2 atau rata-rata 17 kg/cm^2 serta nilai N dari Standard Penetrasi Test antara 3 sampai lebih dari 30.

3. Formasi Upper Tuff layer

Formasi ini terdiri dari batuan Recent volcanic ash, scoria dan pumice deposits. Material dari formasi ini belum terkonsolidasi dengan baik dan lebih bersifat tanah dari pada batuan. Nilai N dari Standard Penetrasi Test antara 3 sampai 22.

4. Formasi Overburden

Formasi ini merupakan lapisan yang berada dibagian atas yang terdiri dari batuan top soil, scree deposits, terrace deposits, dan riverbed deposits.

Keadaan sekitar bendungan

Dari gambar 2.3. " geologi dam site ", untuk daerah lokasi dam terdiri dari batuan tuff breccia, yang berselang-seling dengan tuffaceous sandstone dan pumice tuffs, dan alluvial dan scree deposits. Tuff breccia terdistribusi membentuk batuan dasar pada lokasi.

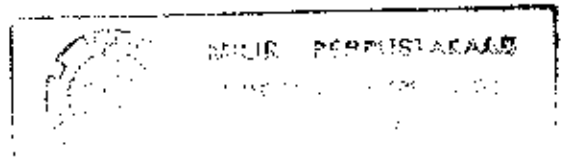
Pada bagian tebing, berselang-seling tuffaceous sandstone dan pumice tuffs dari batuan tuff breccia dan dilapisi oleh overburden.

Batuan dasar pondasi pada rencana dam diperkirakan cukup kedap dengan koefisien permeabilitas berkisar antara $1,0 \times 10^{-5}$ cm/dt sampai dengan $2,2 \times 10^{-4}$ cm/dt. Dasar pondasi yang terdiri dari batuan tuff breccia ini diperkirakan akan mampu menahan berat dam dari beton.

Keadaan disekitar waterway

Dari gambar 2.4 " geologi waterway ", jenis lapisan tanah di sekitar lokasi waterway bagian atas terdiri atas tuff breccia dan volcanic layer (intermediate layer dan upper tuff layer). Lapisan tersebut sangat baik sebagai tempat kedudukan rencana bangunan, dibawah lapisan tersebut berupa batuan tuff breccia dan acidic tuff.

Permukaan tanah disekitar rumah generator dapat dilihat pada gambar 2.5. yang terdiri dari lapisan top soil dan atau tuffaceous soil dan riverbed deposits.



Bahan-bahan bangunan

Untuk membuat dam dan PLTA Besai diperlukan bahan-bahan timbunan dan bahan-bahan konstruksi beton yang sangat banyak. Dari hasil penyelidikan, pasir dan kerikil banyak terdapat di sepanjang sungai Besai yang mana dapat digunakan untuk material agregrat beton. Tetapi untuk proyek Besai ini terdapat dua tempat quarry (dapat dilihat pada gambar 2.6) yaitu quarry A yang terdiri dari

andesites yang terletak disekitar Gedongsurian dan quarry B yang terdiri dari basalt lava dan tuff breccia yang terletak disekitar Bukit Kemuning. Berdasarkan penyelidikan, quarry B mempunyai kualitas yang lebih baik untuk material agregat beton.

2.2. PENENTUAN TYPE DAM

Dalam menentukan type dam yang akan digunakan, perlu diketahui dahulu macam-macam bendungan. Bendungan dapat digolong-golongkan menurut struktur, bahan-bahan konstruksi, tujuan kegunaan, prinsip perencanaan, tinggi dan lain sebagainya. Penggolongan bendungan menurut bahan konstruksi dan prinsip perencanaan adalah sebagai berikut :

1. Bendungan beton
 - a. bendungan gravitasi
 - b. bendungan busur
 - c. bendungan rongga
 2. Bendungan urugan
 - a. bendungan urugan batu
 - b. bendungan tanah
 3. Bendungan kerangka baja
 4. Bendungan kayu
-

Penggolongan bendungan menurut tujuan penggunaan adalah sebagai berikut :

1. Bendungan pemasukan (intake dam)
2. Bendungan penyimpanan (storage dam)
3. Bendungan pengatur (regulating dam)
4. Bendungan penyimpan dipompa (pumped storage dam)

Dari pertimbangan faktor-faktor topografi, geologi, keberadaan material konstruksi pada calon lokasi serta kelebihan dan kekurangan dari bermacam-macam type bendungan, maka untuk PLTA Besai pada studi pendahuluan dipilih *type bendungan pemasukan (intake dam) dengan bahan beton.*

Adapun dipilihnya type intake dam karena type ini umum dipakai untuk PLTA jenis aliran sungai langsung.

Dan bahan dari beton mempunyai beberapa kelebihan yaitu :

1. Lebih menguntungkan bila dibangun pada alur sungai yang dalam tetapi sempit
 2. Teori perencanaannya yang sederhana
 3. Pembangunannya yang mudah
 4. Pemasangan fasilitas-fasilitas tambahannya dapat dilakukan dengan baik
 5. Derajat keamanan yang tinggi
-

Namun mempunyai kekurangan-kekurangan :

1. Persyaratan agar batuan pondasinya benar-benar baik harus ditaati
2. Kwantitas kerja pembuatannya besar
3. Dibutuhkan sejumlah besar bahan-bahan bangunan
4. Biaya konstruksi bendungan mahal.

2.3. RENCANA TYPE PLTA

2.3.1. TYPE PLTA

Secara garis besar, bangunan-bangunan air guna pembangkitan tenaga listrik yang dibangun pada suatu sungai dapat diklasifikasikan menjadi 2 golongan, yaitu :

1. Penggolongan berdasarkan tinggi terjun yang ada, terdiri dari 3 jenis yaitu :

- Jenis lerusan air (*waterway*) adalah tenaga listrik yang dibangkitkan dengan memanfaatkan tinggi terjun dengan kemiringan sungai
 - Jenis bendungan (*dam*) adalah tenaga listrik yang dibangkitkan dengan memanfaatkan tinggi terjun yang diperoleh antara hulu dan hilir sungai
-

- Jenis bendungan dan terusan air adalah tenaga listrik yang dibangkitkan dengan menggunakan tinggi terjun yang didapat dari bendungan dan terusan.

2. Penggolongan menurut aliran air, terdiri dari 4 jenis yaitu :

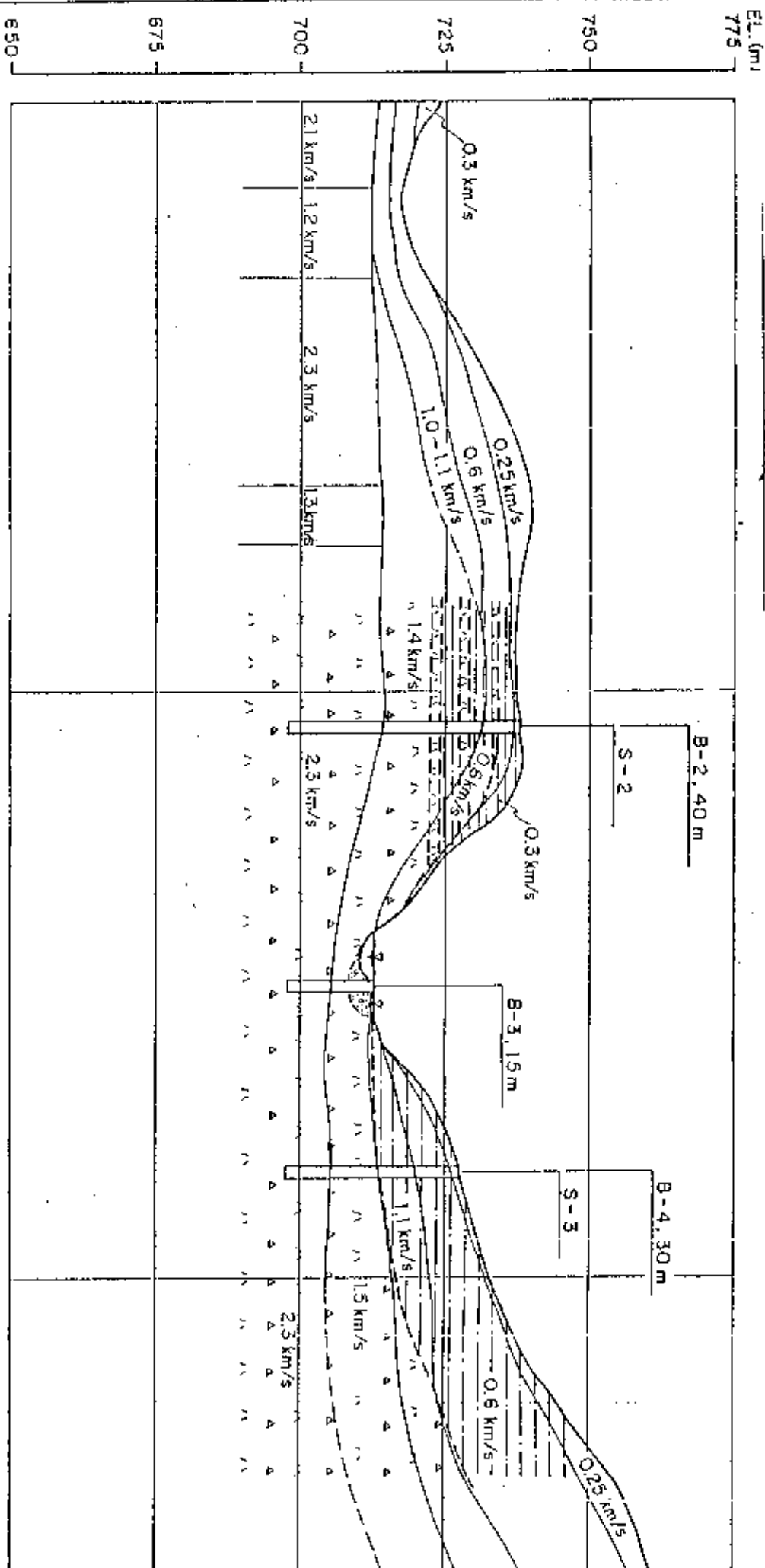
- Jenis aliran sungai langsung (*run of river*) adalah membangkitkan tenaga listrik dengan memanfaatkan aliran sungai itu sendiri secara alamiah
 - Jenis dengan kolam pengatur (*regulating pond*) adalah mengatur aliran sungai setiap hari atau setiap minggu dengan menggunakan kolam pengatur dan membangkitkan tenaga listrik sesuai dengan perubahan beban.
 - Jenis waduk (*reservoir*) adalah dengan menggunakan bendungan besar yang melintang sungai untuk dapat menghimpun air pada musim hujan dan dikeluarkan pada musim kemarau, sehingga pusat listrik ini sangat berguna untuk pemakaian sepanjang tahun.
 - Jenis dipompa (*pumped storage*) adalah pusat listrik yang memanfaatkan kembali air yang didapat untuk membangkitkan tenaga listrik pada beban puncak pada siang hari.
-

2.3.2. ALTERNATIF RENCANA TYPE PLTA

Dari peta topografi terlihat bahwa dam site terletak sekitar 1,5 km dari sebuah desa dan dekat jalan utama yang menuju ke arah barat laut dari propinsi lampung, sehingga daerah untuk genangan dan kapasitas tampungannya yang didapat relatif kecil. Dan proyek PLTA Besai ini dapat memanfaatkan penampang memanjang sungainya sendiri. Dari pertimbangan tersebut diatas, maka secara garis besar proyek PLTA Besai dapat digolongkan sebagai *pusat listrik aliran sungai langsung (run of river)*.

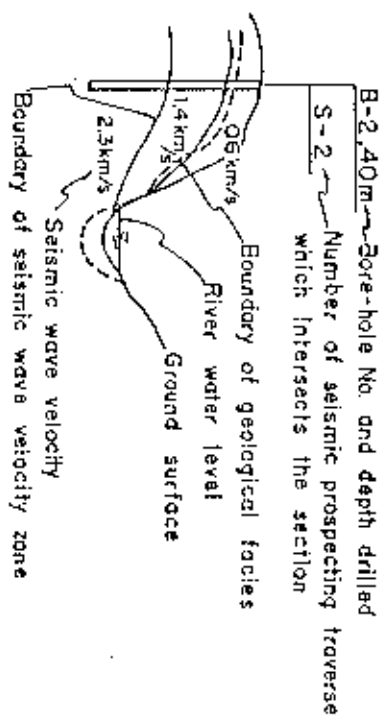


(Dam Site)

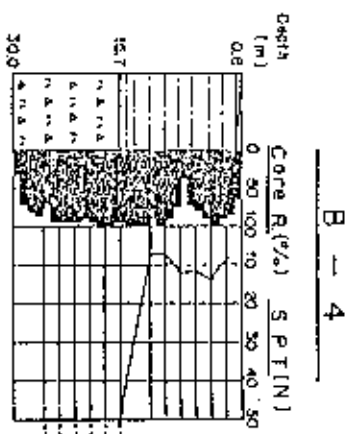
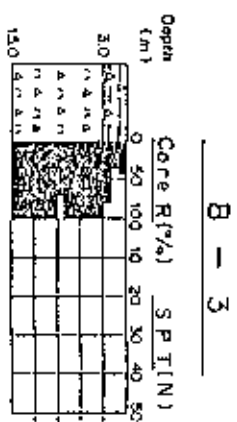
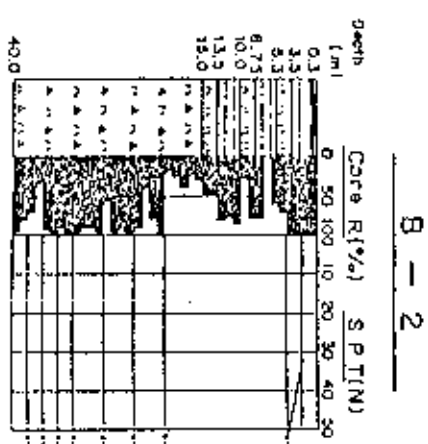


Explanation of Section

- Riverbed deposit
- Top soil and/or tuffaceous soil
- Acidic tuff (Intermediate layer)
- Tuff breccia (Tuff Breccia Formation)



Drill Logs



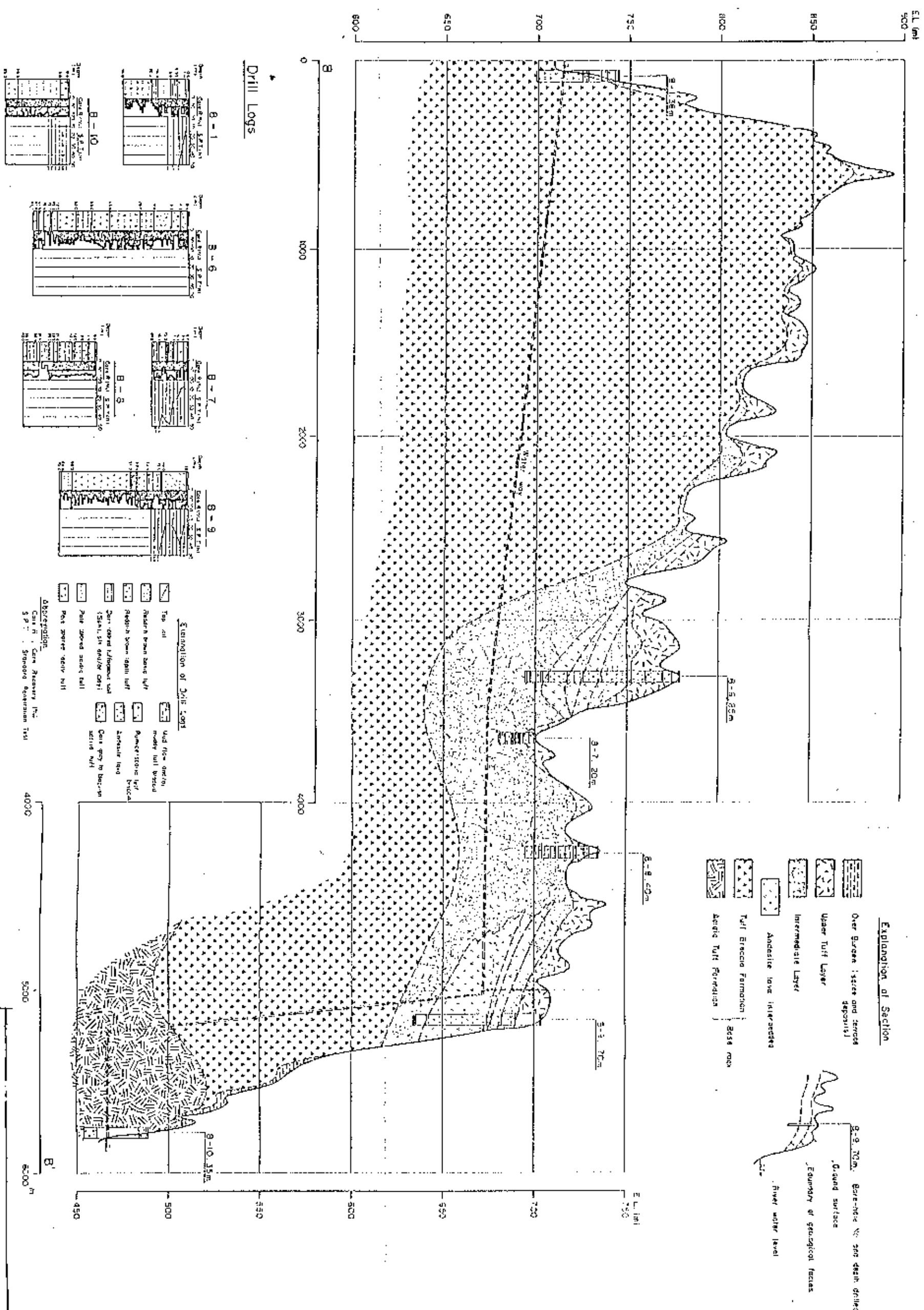
Explanation of Drill Logs

- Top soil
 - Dark colored tuffaceous soil (Sand, silt and/or clay)
 - Pale colored acidic tuff
 - Pale colored lapilli tuff
 - Mud flow and/or muddy tuff, breccia
 - Pumice-scoria tuff, breccia
- Abbreviation
- Core R : Core Recovery (%)
- S P T : Standard Penetration Test

GAMBAR 2.3.

GEOLOGI DAM SITE

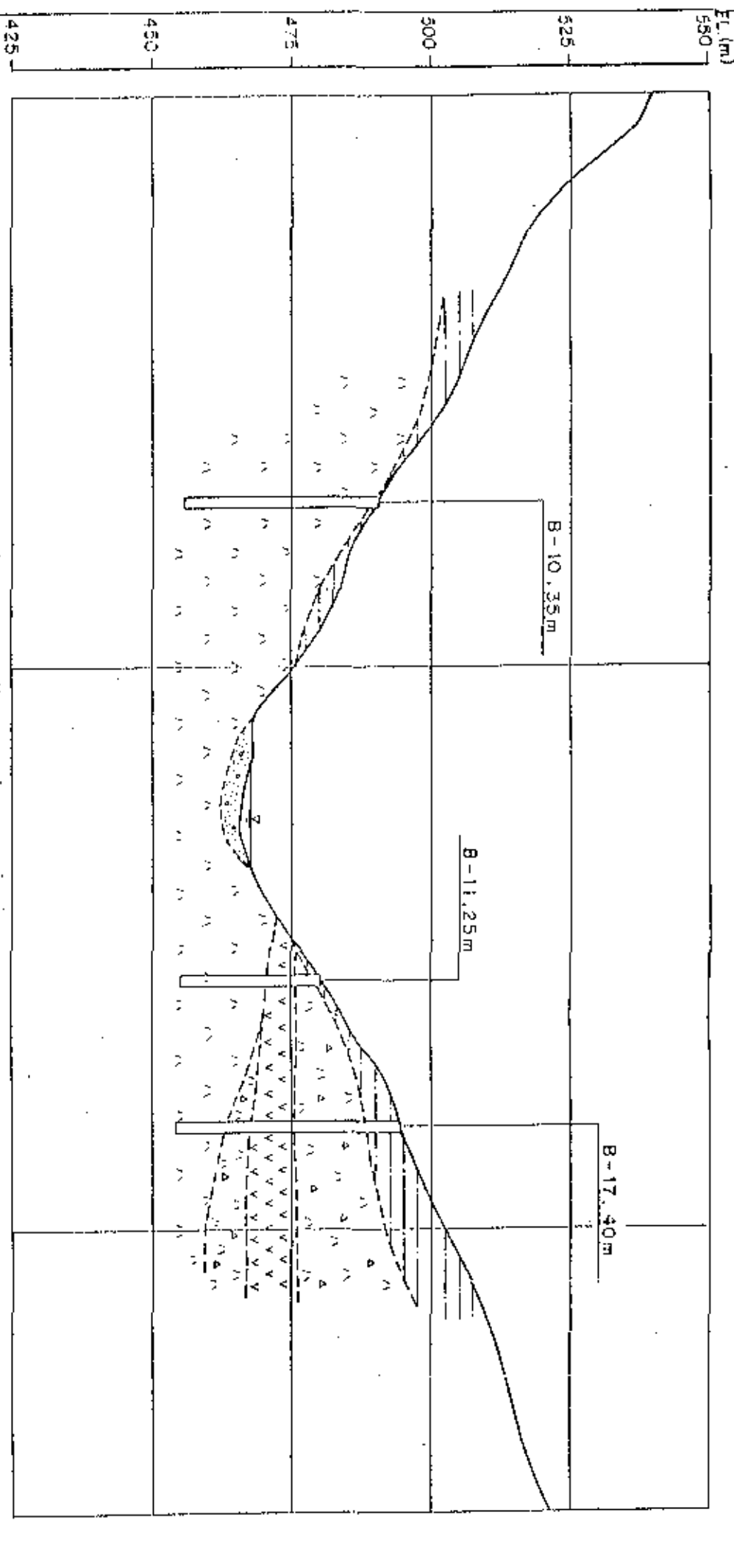
number gambar : Dinas Survey PLN



sumber gambar : Dinas Survey PLN

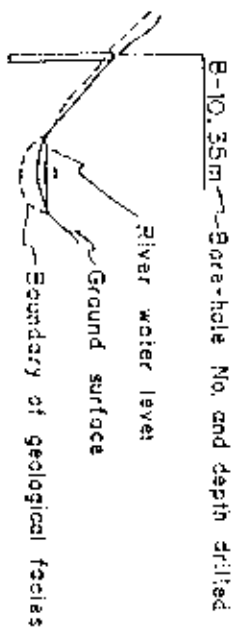
GEOLOGI WATERWAY

(Powerhouse Site)



Explanation of Section

- Riverbed deposit
- Top soil and/or lufaceous soil
- Tuff breccia (Tuff Breccia Formation)
- Andesite lava
- Acidic tuff and/or lapilli tuff (Acidic Tuff Formation)



Drill Logs

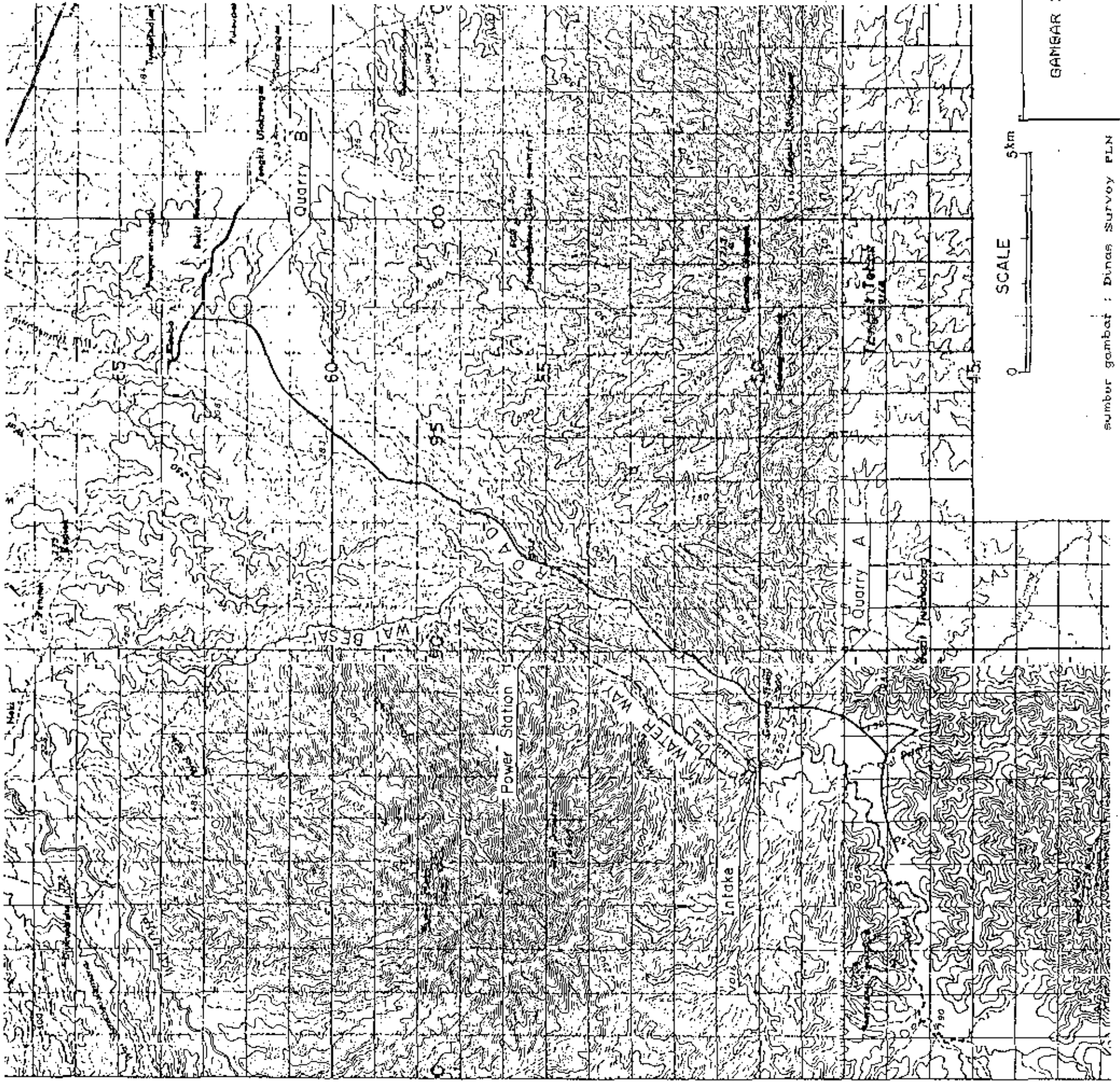
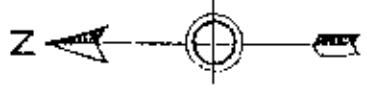
B - 10									
Depth (m)	Core R (%)	SPT (N)	Depth (m)	Core R (%)	SPT (N)	Depth (m)	Core R (%)	SPT (N)	Depth (m)
0.3	100	10	0.3	100	10	0.3	100	10	0.3
1.0	100	10	1.0	100	10	1.0	100	10	1.0
1.5	100	10	1.5	100	10	1.5	100	10	1.5
2.0	100	10	2.0	100	10	2.0	100	10	2.0
2.5	100	10	2.5	100	10	2.5	100	10	2.5
3.0	100	10	3.0	100	10	3.0	100	10	3.0
3.5	100	10	3.5	100	10	3.5	100	10	3.5
4.0	100	10	4.0	100	10	4.0	100	10	4.0
4.5	100	10	4.5	100	10	4.5	100	10	4.5
5.0	100	10	5.0	100	10	5.0	100	10	5.0
5.5	100	10	5.5	100	10	5.5	100	10	5.5
6.0	100	10	6.0	100	10	6.0	100	10	6.0
6.5	100	10	6.5	100	10	6.5	100	10	6.5
7.0	100	10	7.0	100	10	7.0	100	10	7.0
7.5	100	10	7.5	100	10	7.5	100	10	7.5
8.0	100	10	8.0	100	10	8.0	100	10	8.0
8.5	100	10	8.5	100	10	8.5	100	10	8.5
9.0	100	10	9.0	100	10	9.0	100	10	9.0
9.5	100	10	9.5	100	10	9.5	100	10	9.5
10.0	100	10	10.0	100	10	10.0	100	10	10.0
10.5	100	10	10.5	100	10	10.5	100	10	10.5
11.0	100	10	11.0	100	10	11.0	100	10	11.0
11.5	100	10	11.5	100	10	11.5	100	10	11.5
12.0	100	10	12.0	100	10	12.0	100	10	12.0
12.5	100	10	12.5	100	10	12.5	100	10	12.5
13.0	100	10	13.0	100	10	13.0	100	10	13.0
13.5	100	10	13.5	100	10	13.5	100	10	13.5
14.0	100	10	14.0	100	10	14.0	100	10	14.0
14.5	100	10	14.5	100	10	14.5	100	10	14.5
15.0	100	10	15.0	100	10	15.0	100	10	15.0
15.5	100	10	15.5	100	10	15.5	100	10	15.5
16.0	100	10	16.0	100	10	16.0	100	10	16.0
16.5	100	10	16.5	100	10	16.5	100	10	16.5
17.0	100	10	17.0	100	10	17.0	100	10	17.0
17.5	100	10	17.5	100	10	17.5	100	10	17.5
18.0	100	10	18.0	100	10	18.0	100	10	18.0
18.5	100	10	18.5	100	10	18.5	100	10	18.5
19.0	100	10	19.0	100	10	19.0	100	10	19.0
19.5	100	10	19.5	100	10	19.5	100	10	19.5
20.0	100	10	20.0	100	10	20.0	100	10	20.0
20.5	100	10	20.5	100	10	20.5	100	10	20.5
21.0	100	10	21.0	100	10	21.0	100	10	21.0
21.5	100	10	21.5	100	10	21.5	100	10	21.5
22.0	100	10	22.0	100	10	22.0	100	10	22.0
22.5	100	10	22.5	100	10	22.5	100	10	22.5
23.0	100	10	23.0	100	10	23.0	100	10	23.0
23.5	100	10	23.5	100	10	23.5	100	10	23.5
24.0	100	10	24.0	100	10	24.0	100	10	24.0
24.5	100	10	24.5	100	10	24.5	100	10	24.5
25.0	100	10	25.0	100	10	25.0	100	10	25.0

Explanation of Drill Logs

- Top soil
- Dark colored lufaceous soil (Sand, silt and/or clay)
- Pale colored acidic tuff
- Pale colored lapilli tuff
- Mud flow and/or muddy tuff breccia
- Pumice-scoria tuff breccia
- Andesit lava

Abbreviation

Core R. : Core Recovery (%)
SPT : Standard Penetration Test



SCALE 0 5km

GAMBAR 2.6.

PETA LOKASI QUARRY

Sumber gambar : Dinas Survey PLN

BAB III

ANALISA HIDROLOGI

3.1. UMUM.

Berbagai macam bangunan-bangunan air memerlukan analisa hidrologi yang merupakan bagian dari perencanaan bangunan-bangunan seperti bendungan, bendung, bangunan pengelak maupun perencanaan dari suatu pengendali banjir.

Dalam studi ini, analisa hidrologi diperlukan untuk menentukan :

- besarnya debit andalan untuk keperluan pembangkitan
- besarnya debit banjir rencana untuk keperluan keamanan dari bangunan-bangunan air PLTA.

Data-data yang diperlukan didalam analisa hidrologi dan yang dapat diperoleh adalah data debit dan data curah hujan. data Debit yang digunakan dalam analisa hidrologi ini diperoleh dari hasil pengukuran stasiun Petai pada pertemuan aliran sungai Besai dan

Petai yang terletak sekitar 1 km sebelah hulu dari lokasi proyek. Sedangkan data curah hujan diperoleh dari 6 stasiun pengamat hujan yaitu : stasiun Air Hitam, stasiun Bungin, stasiun Pajar Bulan, stasiun Rawa Bebek, stasiun Skincau, dan stasiun Sumberjaya.

3.2. PERHITUNGAN DEBIT UNTUK PLTA

Data debit yang dipergunakan dalam perhitungan ini adalah data debit rata-rata bulanan yang diperoleh dari tahun 1974 sampai dengan tahun 1989 (dapat dilihat pada tabel 3.1.).

3.2.1. DEBIT RATA-RATA PLTA BESAI

Didalam memperkirakan debit sungai rata-rata bulanan pada suatu proyek, haruslah dihitung debit reduksi di site tersebut dari stasiun pengukuran debit terdekat (AWLR).

Pada studi pendahuluan PLTA Besai ini, stasiun pengukuran debit terdekat dari site adalah stasiun Petai. Sehingga debit rata-rata pada site didapat dengan persamaan sebagai berikut

$$Q_s = \frac{C_s}{C_g} \times \frac{R_r}{R_g} \times Q_g$$

dimana :

Q_s = Debit di site proyek

Q_g = Debit di stasiun pengamat Petai

C_s = Luas daerah aliran sungai pada lokasi proyek

C_g = Luas daerah aliran sungai pada stasiun pengamat Petai

R_s = Besarnya tinggi hujan rata-rata tahunan sekitar lokasi proyek

R_g = Besarnya tinggi hujan rata-rata tahunan pada stasiun pengamat Petai

Dalam hal ini besarnya R_s dan R_g dianggap sama, karena lokasinya yang berdekatan yaitu sekitar 1 km. Sehingga untuk debit rata-rata PLTA Besai dapat dihitung dari debit rata-rata stasiun Petai dikalikan dengan perbandingan luas daerah aliran sungai. Hasil perhitungan debit rata-rata PLTA Besai dapat dilihat pada tabel 3.2.

TABEL 3.1 : DATA DEBIT RATA-RATA BULANAN PADA STASIUN PETAI

Catchment Area :		386 km ²											(Satuan : m ³ /sec :
TAHUN	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Des	Ave
1974										19,0	16,7	17,8	
1975	31,9	32,2	18,3	23,9	15,2	10,7	18,6	10,4	9,7	12,9	20,6	11,5	18,0
1976	22,1	24,2	24,9	31,0	20,3	12,6	11,0	12,4	10,0	11,7	25,1	20,5	18,8
1977	30,2	31,5	26,9	34,3	21,9	34,0	20,0	12,5	16,6	10,6	18,3	32,7	24,1
1978	33,1	27,8	49,4	30,5	35,2	27,7	23,3	20,1	27,2	24,6	39,8	49,7	32,4
1979	35,6	42,8	22,2	29,2	29,4	18,8	18,0	12,3	12,4	12,6	14,0	19,9	22,3
1980	29,7	21,8	22,1	22,9	17,5	13,2	10,4	10,3	12,3	19,8	33,4	35,2	20,7
1981	26,1	31,2	33,1	45,2	34,1	20,7	17,7	18,2	20,0	15,1	18,0	18,9	24,9
1982	39,1	34,0	23,1	23,5	23,0	10,1	8,7	6,2	5,3	6,1	5,4	22,8	17,3
1983	46,1	19,6	31,5	30,8	32,5	17,1	13,2	7,7	5,7	7,4	20,3	19,2	20,9
1984	27,2	16,8	36,4	32,0	34,0	16,7	12,5	16,6	23,1	28,5	21,7	26,1	24,3
1985	31,4	23,8	24,3	30,6	17,3	18,4	23,0	17,7	14,9	18,5	19,1	25,2	22,0
1986	27,0	23,9	37,7	26,2	19,3	18,1	18,8	15,4	22,7	25,0	32,9	32,1	24,9
1987	45,5	27,4	35,6	33,5	28,1	18,8	14,0	10,3	8,1	9,5	15,4	31,1	23,1
1988	53,5	35,7	38,1	17,3	22,4	15,5	11,7	9,5	7,6	12,2	29,0	22,6	22,9
1989	34,1	33,4	30,2	28,3	20,6	24,7	16,9	14,2					
Max.	53,5	42,8	49,4	45,2	35,2	34,0	23,3	20,1	27,2	28,5	39,8	49,7	32,4
Min.	22,1	16,8	18,3	17,3	15,2	10,1	8,7	6,2	5,3	6,1	5,4	11,5	17,3
Avg.	34,2	28,4	30,3	29,3	24,7	18,5	15,9	12,9	14,0	15,6	22,0	25,7	22,6

TABEL 3.2 : DATA DEBIT RATA-RATA BULANAN PADA PLTA BESAI

Catchment Area :		415 km ²													(Satuan : m ³ /sec)	
TAHUN	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Des	Ave			
1974										20,4	18,0	19,1				
1975	34,3	34,6	19,7	25,7	16,3	11,3	20,0	11,2	10,4	13,9	22,1	12,4	19,3			
1976	23,8	26,0	26,8	33,3	21,8	13,5	11,8	13,3	10,8	12,6	27,0	22,0	20,2			
1977	32,5	33,9	28,9	36,9	23,5	36,6	21,5	13,4	17,8	11,4	19,7	35,2	25,9			
1978	33,6	29,9	53,1	32,8	37,8	29,8	25,1	21,6	29,2	26,4	42,8	53,4	34,8			
1979	38,3	46,0	23,9	31,4	31,6	20,2	19,4	13,2	13,3	13,5	15,1	21,4	23,9			
1980	31,9	23,4	23,8	24,6	18,8	14,2	11,2	11,1	13,2	21,3	35,9	37,8	22,3			
1981	28,1	33,5	35,6	48,6	36,7	22,3	19,0	19,6	21,5	16,2	19,4	20,3	26,7			
1982	42,0	36,6	24,8	25,3	24,7	10,9	9,4	6,7	5,7	6,6	5,8	24,5	18,6			
1983	49,6	21,1	33,9	33,1	34,9	18,4	14,2	8,3	6,1	8,0	21,8	20,6	22,5			
1984	29,2	18,1	39,1	34,4	36,6	18,0	13,4	17,8	24,8	30,6	23,3	23,1	26,1			
1985	33,8	25,6	26,1	32,9	18,6	19,8	24,7	19,0	16,0	19,9	20,5	27,1	23,7			
1986	29,0	25,7	40,5	28,2	20,8	19,5	20,2	16,6	24,4	26,9	35,4	34,5	26,8			
1987	48,9	29,5	38,3	36,0	30,2	20,2	15,1	11,1	8,7	10,2	16,6	33,4	24,8			
1988	57,5	38,4	41,0	18,6	24,1	16,7	12,6	10,2	8,2	13,1	31,2	24,3	24,6			
1989	36,7	35,9	32,5	30,4	22,1	26,6	18,2	15,3								
Max.	57,5	46,0	53,1	48,6	37,8	36,6	25,1	21,6	29,2	30,6	42,8	53,4	34,8			
Min.	23,8	18,1	19,7	18,6	16,3	10,9	9,4	6,7	5,7	6,6	5,8	12,4	18,6			
Avg.	36,7	30,5	32,5	31,5	26,6	19,9	17,0	13,9	15,0	16,7	23,6	27,6	24,3			

Dari Data diatas diperoleh kesimpulan :

0 <= Q < 5	=>	0 data
5 <= Q < 10	=>	10 data
10 <= Q < 15	=>	27 data
15 <= Q < 20	=>	31 data
20 <= Q < 25	=>	35 data
25 <= Q < 30	=>	23 data
30 <= Q < 35	=>	23 data
35 <= Q < 40	=>	19 data
40 <= Q < 45	=>	4 data
45 <= Q < 50	=>	4 data
50 <= Q < 55	=>	2 data
55 <= Q < 60	=>	1 data
Q >= 60	=>	0 data

Jumlah => 179 data
(satuan : m³/dt)

3.2.2. DEBIT ANDALAN

Debit andalan adalah debit yang diharapkan selalu tersedia sepanjang tahun sesuai dengan probabilitas kejadian yang direncanakan. Semakin besar probabilitas kejadiannya semakin kecil pula debit yang ada. Data debit yang dapat dipergunakan dalam perhitungan debit andalan adalah data debit harian sekurang-kurangnya 5 tahun atau data debit rata-rata bulanan minimum 10 tahun.

Dalam menentukan debit andalan perlulah diadakan studi optimasi yaitu untuk mendapatkan debit optimal yang diharapkan akan menghasilkan benefit maximal. Misalnya dengan mengambil probabilitas 60% dengan probabilitas 80% akan menghasilkan debit yang tidak sama. Dari duration curve, debit dengan probabilitas 60% akan lebih besar dibanding debit dengan probabilitas 80%. Dengan debit yang besar memang akan menghasilkan daya yang besar pula, tetapi harus diingat bahwa debit yang besar akan memperbesar dimensi waterway. Dengan dimensi waterway yang besar akan semakin besar pula biaya pembangunannya. Untuk mendapatkan hasil yang optimal antara debit dan biaya pembangunan ini maka diperlukan studi optimasi. *Studi optimasi ini hanya diperlukan untuk PLTA tipe waduk.*

Sedangkan untuk PLTA tipe Run of River tidak perlu memakai studi optimasi, karena fungsi dari PLTA run of river adalah membangkitkan tenaga listrik guna keperluan beban dasar yang mana harus ada sepanjang tahun. Besarnya debit andalan diambil sebesar 97% yang berarti diharapkan tersedianya debit selama 355 hari dalam setahun. Berdasarkan studi yang telah dilakukan oleh Nippon Koei dan Electric Power Development Company, Ltd (EPDC), untuk PLTA tipe run of river daya pasti yang didapat adalah daya yang dibangkitkan selama 355 hari dalam setahun (97%).

Begitu juga untuk PLTA Besai yang direncanakan tipe run of river, diambil debit andalan sebesar 97% dengan harapan debit yang terbuang dapat dimanfaatkan oleh PLTA yang berada disebelah hilir.

Untuk mendapatkan debit andalan dipakai cara lengkung durasi aliran dengan memakai data debit rata-rata bulanan dalam 16 tahun, sesuai dengan data yang ada.

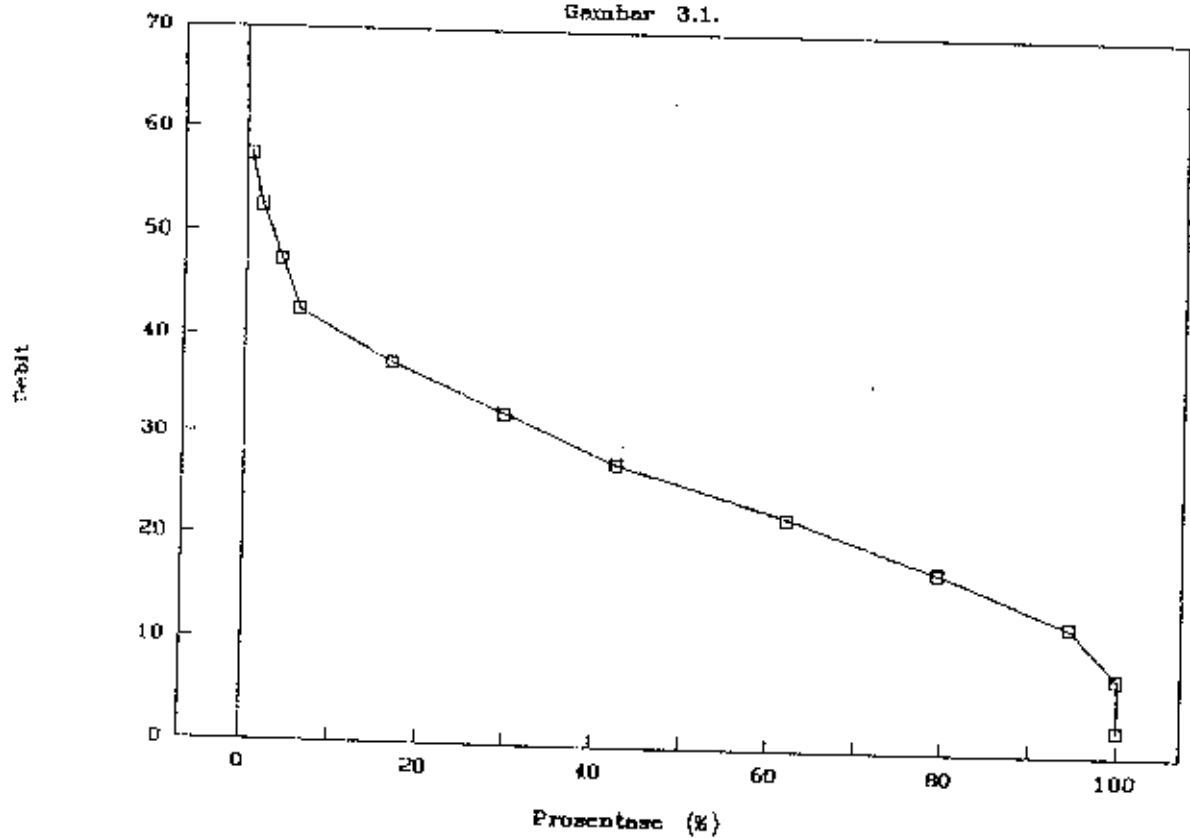
Cara perhitungan debit andalan dapat dilihat pada tabel 3.3. dan lengkung durasinya dapat dilihat pada gambar 3.1.

TABEL 3.3. : PERHITUNGAN DEBIT ANDALAN PROYEK BESAL

INTERVAL (m ³ /dt)	TITIK TENGAH (m ³ /dt)	FREK	FREK KOM	PROSENT (%)
55 <= Q < 60	57,5	1	1	0,56
50 <= Q < 55	52,5	2	3	1,68
45 <= Q < 50	47,5	4	7	3,91
40 <= Q < 45	42,5	4	11	6,15
35 <= Q < 40	37,5	19	30	16,76
30 <= Q < 35	32,5	23	53	29,61
25 <= Q < 30	27,5	23	76	42,46
20 <= Q < 25	22,5	35	111	62,01
15 <= Q < 20	17,5	31	142	79,33
10 <= Q < 15	12,5	27	169	94,41
5 <= Q < 10	7,5	10	179	100,00
0 <= Q < 5	2,5	0	179	100,00

Duration Curve

Gambar 3.1.



Dengan melihat lengkung durasi debit rata-rata bulanan PLTA Besai (gambar 3.1), untuk keandalan 97% didapatkan $Q = 10.2 \text{ m}^3/\text{dt}$.

3.3. PERHITUNGAN DEBIT BANJIR RENCANA

Berhubung tidak lengkapnya data debit, maka untuk memperkirakan besarnya banjir rencana dihitung berdasarkan data curah hujan yang diamati pada 6 stasiun pengamat yang telah disebutkan pada bab 3.1. Dari 6 stasiun pengamat hujan tersebut dapat ditentukan hujan harian maximum selama periode pengamatan. Berdasarkan hujan harian maximum ini, kemudian dihitung tinggi hujan rencana dengan suatu kemungkinan perulangan tertentu, yang selanjutnya dipergunakan untuk menghitung debit banjir.

3.3.1. PERHITUNGAN CURAH HUJAN RATA-RATA MAXIMUM

Penentuan curah hujan harian terbesar dari masing-masing stasiun untuk mendapatkan curah hujan harian rata-rata seluruh daerah aliran sungai Besai digunakan metode polygon thiesen. Metode ini digunakan pada daerah-daerah yang stasiun hujannya tersebar tidak merata pada daerah aliran sungai (catchment area).

Cara perhitungannya adalah sebagai berikut :

- a. Dilakukan dengan memperhitungkan daerah pengaruh tiap stasiun pengamatan
- b. Daerah yang bersangkutan tersebut dibagi dalam polygon-polygon yang didapat dengan :
 - Menghubungkan tiap-tiap stasiun dengan garis sehingga menjadi suatu segitiga-segitiga
 - Menggambar garis bagi tegak lurus pada tiap sisi segitiga tersebut.
- c. Curah hujan dalam tiap polygon itu dianggap diwakili oleh curah hujan dari stasiun pengamatan yang terdapat dalam tiap polygon tersebut.
- d. Curah hujan rata-rata daerah tersebut dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\bar{R} = \frac{A_1.R_1 + A_2.R_2 + \dots + A_n.R_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n}$$

$$= W_1.R_1 + W_2.R_2 + \dots + W_n.R_n$$

dimana :

\bar{R} = Curah hujan daerah

$W_1 = \frac{A_1}{A}$; $W_2 = \frac{A_2}{A}$; $W_n = \frac{A_n}{A}$ = koef. Thiesen

$A = \sum A_i = A_1 + A_2 + \dots + A_n$

R_1, R_2, \dots, R_n = Curah hujan di tiap titik pengamatan
dan n adalah jumlah titik
pengamatan.

A_1, A_2, \dots, A_n = Bagian daerah yang mewakili tiap
titik pengamatan.

Luas daerah yang mewakili tiap stasiun adalah sebagai berikut :

- Stasiun Pajar Bulan = $91,3 \text{ km}^2$
- Stasiun Skincau = $41,5 \text{ km}^2$
- Stasiun Air Hitam = $91,3 \text{ km}^2$
- Stasiun Bungin = $66,4 \text{ km}^2$
- Stasiun Rawa Bebek = $37,35 \text{ km}^2$
- Stasiun Sumber Jaya = $87,15 \text{ km}^2$

Thiesen polygon untuk daerah aliran sungai dan Besai dapat dilihat pada gambar 3.2. dan hasil perhitungan curah hujan rata-rata maximum daerah dapat dilihat pada tabel 3.4.

Legend

— Basin Boundary

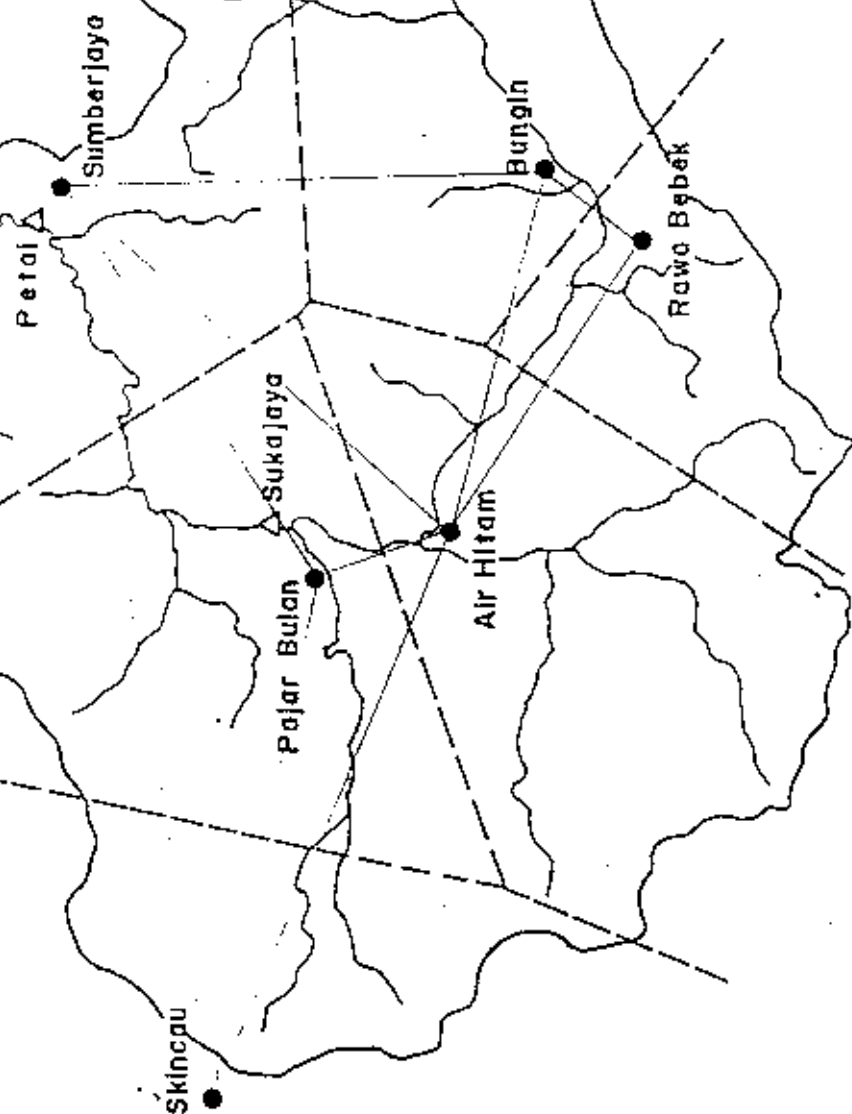
--- River

△ W.L. gauge

● Rainfall gauge

INTAKE DAM

N



0 5 10 km

SCALE

GAMBAR 3.2.

THIESEN POLYGON

sumber gambar : Dinas Survey PLN

TABEL 3.4. : PERHITUNGAN CURAH HUJAN RATA-RATA MAX DAERAH

(Satuan : mm)

TAHUN	TANGGAL	STASIUN CURAH HUJAN						CURAH HUJAN RATA-RATA MAX DAERAH
		PAJAR BULAN	SKINCAU	BUNGLIN	SUNBER JAYA	AIR HITAM	RAWA BEBEK	
		0,220	0,100	0,160	0,210	0,220	0,090	
1975	3 FEB	44,50	55,00	50,00	15,00	69,00	50,00	46,12
1976	5 APR	81,20	32,00	20,00	38,00	59,60	20,00	47,16
1977	31 MEI	12,00	16,00	18,75	57,00	25,00	15,42	28,10
1978	14 DES	80,00	45,00	45,50	55,00	30,00	13,00	46,70
1979	15 JAN	47,00	53,30	61,00	26,00	26,00	23,00	38,68
1980	29 OKT	100,50	43,00	103,00	0,80	67,00	84,00	65,36
1981	19 FEB	47,00	38,80	57,00	57,20	53,60	47,40	51,41
1982	8 JAN	19,00	11,50	55,00	32,20	21,40	25,00	27,65
1983	7 APR	50,00	19,50	0,00	22,70	59,00	0,00	30,70
1984	25 MEI	83,00	0,00	5,00	46,20	1,20	5,00	29,48
1985	1 JAN	50,40	21,00	0,00	0,00	60,40	0,00	26,48
1986	16 DES	79,80	50,00	9,00	9,70	83,00	9,00	45,10
1987	5 MAR	23,40	19,50	7,00	6,90	17,00	7,00	14,04
1988	11 JAN	53,80	39,00	25,00	27,40	15,40	25,00	31,13

3.3.2. PERHITUNGAN CURAH HUJAN RENCANA

Untuk mendapatkan suatu debit banjir rencana dari data curah hujan harus dihitung terlebih dahulu besarnya *curah hujan rencana* yang akan menyebabkan timbulnya debit banjir rencana. Debit banjir rencana tersebut dihitung berdasarkan hubungan curah hujan terhadap limpasan/run off dan analisa frekwensi curah hujan.

Perhitungan mengenai kemungkinan perulangan kejadian/analisa frekwensi dihitung dengan rumus umum :

$$X_T = \bar{X} + K.S_x$$

dimana :

X_T = Besarnya curah hujan untuk periode tahun berulang T tahun (mm)

T = Periode tahun berulang/return period (th)

\bar{X} = Curah hujan maximum rata-rata selama tahun pengamatan (mm)

S_x = Standart deviasi

$$= \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{(N - 1)}}$$

K = Faktor frekwensi untuk periode tahun berulang T tahun

Sedangkan untuk mencari faktor frekwensinya dapat dipakai dengan cara :

a. GUMBEL

$$K = \left(\frac{Y_T - Y_n}{S_n} \right)$$

dimana :

Y_n = reduced mean yang merupakan fungsi dari banyaknya data n , dapat dilihat pada lampiran 1.

Y_T = Reduced variete yang merupakan fungsi dari masa ulang T , yang didapat dari rumus : $Y_T = - \ln \ln \left(\frac{T}{T-1} \right)$ atau dapat dilihat pada lampiran 1.

S_n = Reduced standart deviasi yang merupakan fungsi dari banyaknya data n , dapat dilihat pada lampiran 1.

Hasil perhitungan pengolahan data tinggi hujan maximum tiap tahun dapat dilihat pada tabel 3.5. dan perhitungan curah hujan rencana dengan periode ulang tertentu dapat dilihat pada tabel 3.6.

TABEL 3.5 : PENGOLAHAN DATA TINGGI HUJAN MAX
TIAP TAHUN CARA GUMBEL

TAHUN	CURAH HUJAN X_i (mm)	\bar{X}	$(X_i - \bar{X})$	$(X_i - \bar{X})^2$	S_x
1980	65,36	37,73	27,62	763,03	13,49
1981	51,41	37,73	13,68	187,01	13,49
1978	48,70	37,73	10,97	120,23	13,49
1976	47,16	37,73	9,42	88,76	13,49
1975	46,12	37,73	8,39	70,31	13,49
1986	45,10	37,73	7,37	54,29	13,49
1979	38,68	37,73	0,95	0,89	13,49
1988	31,13	37,73	-6,61	43,65	13,49
1983	30,70	37,73	-7,04	49,53	13,49
1984	29,48	37,73	-8,26	68,21	13,49
1982	27,85	37,73	-9,88	97,71	13,49
1985	26,48	37,73	-11,26	126,76	13,49
1977	26,10	37,73	-11,64	135,42	13,49
1987	14,04	37,73	-23,70	561,59	13,49
				2367,41	

TABEL 3.6 : PERHITUNGAN TINGGI CURAH HUJAN RENCANA
PADA PERIODE ULANG TERTENTU

PERIODE ULANG (Tahunan)	\bar{X} (mm)	YT	Y_n	S_n	S_x	RT (mm)
2	37,73	0,3665	0,5100	1,0095	13,49	35,82
10	37,73	2,2502	0,5100	1,0095	13,49	61,00
25	37,73	3,1985	0,5100	1,0095	13,49	73,67
50	37,73	3,9019	0,5100	1,0095	13,49	83,08
100	37,73	4,6001	0,5100	1,0095	13,49	92,41
200	37,73	5,2960	0,5100	1,0095	13,49	101,71
1000	37,73	6,9190	0,5100	1,0095	13,49	123,41

B. LOG PEARSON TYPE III

Jika X adalah data curah hujan , kemudian $Z = \log X$ maka persamaan periode ulang T menjadi :

$$Z_T = \bar{Z} + K_Z \cdot S_Z$$

Dimana :

K = Faktor frekwensi yang tergantung dari koefisien skew (C_s) dan periode ulang (T), seperti terlihat pada lampiran 2.

S_Z = Standart deviasi dari Z

$$= \sqrt{\frac{\sum (Z - \bar{Z})^2}{(N - 1)}}$$

Koefisien skew (C_s) dihitung dengan persamaan dibawah ini :

$$C_s = \frac{N \sum (Z_i - \bar{Z})^3}{(N - 1) (N - 2) (S_Z)^3}$$

dimana :

\bar{Z} = rata-rata dari nilai Z_i

N = Jumlah tahun data

Sehingga besarnya curah hujan pada periode ulang T (X_T) adalah antilog (Z_T).

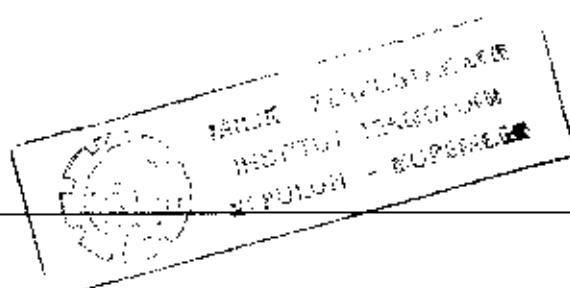
Hasil perhitungan pengolahan data tinggi hujan maximum tiap tahun dapat dilihat pada tabel 3.7. dan perhitungan tinggi curah hujan rencana pada periode ulang tertentu dapat dilihat pada tabel 3.8.

TABEL 3.7 : PENGOLAHAN DATA TINGGI HUJAN MAX TIAP TAHUN
CARA LOG PEARSON TYPE III

TAHUN	CURAH HUJAN X_i (mm)	$Z_i = \text{LOG } X_i$	Z (mm)	$(Z_i - Z)$	$(Z_i - Z)^2$	$(Z_i - Z)^3$	S_z	C_s
1975	46,12	1,664	1,548	0,116	0,013	0,0015	0,170	-0,724
1976	47,16	1,674	1,548	0,125	0,016	0,0020	0,170	-0,724
1977	26,10	1,417	1,548	-0,132	0,017	-0,0023	0,170	-0,724
1978	48,70	1,688	1,548	0,139	0,019	0,0027	0,170	-0,724
1979	38,68	1,587	1,548	0,039	0,002	0,0001	0,170	-0,724
1980	65,36	1,815	1,548	0,267	0,071	0,0191	0,170	-0,724
1981	51,41	1,711	1,548	0,163	0,027	0,0043	0,170	-0,724
1982	27,85	1,445	1,548	-0,103	0,011	-0,0011	0,170	-0,724
1993	30,70	1,487	1,548	-0,061	0,004	-0,0002	0,170	-0,724
1994	29,48	1,469	1,548	-0,079	0,006	-0,0005	0,170	-0,724
1995	26,48	1,423	1,548	-0,125	0,016	-0,0020	0,170	-0,724
1996	45,10	1,654	1,548	0,106	0,011	0,0012	0,170	-0,724
1997	14,04	1,147	1,548	-0,401	0,161	-0,0644	0,170	-0,724
1998	31,13	1,493	1,548	-0,055	0,003	-0,0002	0,170	-0,724
					0,377	-0,0399		

TABEL 3.8 : PERHITUNGAN TINGGI CURAH HUJAN RENCANA
PADA PERIODE ULANG TERTENTU

PERIODE ULANG (Tahunan)	Z	(K_z)	(S_z)	ZT $\{Z + K_z.S_z\}$	XT $(= \text{ANTILOG } ZT)$
2	1,548	0,120	0,170	1,568	37,02
10	1,548	1,179	0,170	1,748	56,03
25	1,548	1,478	0,170	1,799	62,99
50	1,548	1,649	0,170	1,828	67,35
100	1,548	1,788	0,170	1,852	71,11
200	1,548	1,905	0,170	1,872	74,45
1000	1,548	2,122	0,170	1,909	81,05



UJI KESESUAIAN DISTRIBUSI DATA CURAH HUJAN

Untuk mengetahui kecocokan satu rangkaian data dengan suatu sebaran (distribusi) tertentu dapat dilakukan pengujian dengan beberapa metode, salah satunya adalah metode *Smirnov - Kolmogorov*.

Prosedur pengujian kesesuaian rangkaian data dengan metode *Smirnov - Kolmogorov* adalah sebagai berikut :

- Data curah hujan rata-rata maximum daerah aliran disusun dari yang terbesar sampai yang terkecil.
- Probabilitas empiris dari masing-masing data dihitung dengan persamaan Weibull :

$$P_e = \frac{M}{N + 1}$$

dimana :

P_e = Probabilitas empiris

M = Nomor rangking data

N = Jumlah data

- Probabilitas teoritis dari masing-masing data dihitung dengan persamaan frekwensi dari tipe distribusi yang akan diuji kesesuaiannya, dalam hal ini digunakan distribusi Gumbel.

$$R_T = \bar{R} + \frac{(Y_T - Y_n)}{S_n} \cdot S_x$$

Dari lampiran 1, untuk $n = 14$ didapat $Y_n = 0,5100$ dan $S_n = 1,0095$.

Dari tabel 3.6, didapat $\bar{R} = 37,73$ dan $S_x = 13,49$.

$$R_T = 37,73 + \frac{(Y_T - 0,5100)}{1,0095}$$

$$= 37,73 + 13,36 Y_T - 6,82$$

$$R_T = 30,91 + 13,36 Y_T$$

$$Y_T = \frac{R_T - 30,91}{13,36}$$

$$Y_T = - \ln \left[\ln \left(\frac{1}{1-P} \right) \right]$$

$$P_t = 1 - \frac{1}{e^{e^{(-Y_T)}}}$$

- Kemudian dicari selisih probabilitas (Δ) empiris dan teoritis yang maximum.

Rangkaian data akan terdistribusi secara gumbel bila harga $|\Delta|_{\max} < \Delta_{cr}$ dari Smirnov Kolmogorov.

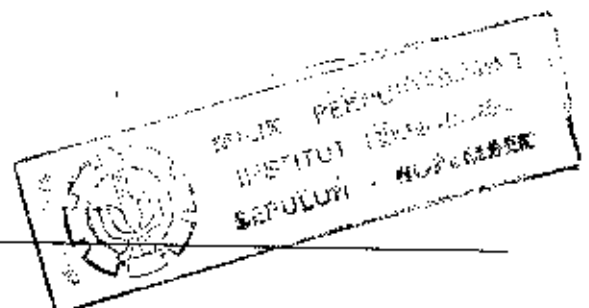
Perhitungan selengkapnya disajikan dalam tabel 3.10.

- Hasil Pengujian

Dari tabel 3.10 : $|\Delta|_{\max} = 0,11$

Dari lampiran 3 : untuk data $n = 14$ } didapat
derajat nyata $\alpha = 5\%$ } $\Delta_{cr} = 0,35$

Jadi $|\Delta|_{\max} < \Delta_{cr}$ maka rangkaian data hujan maximum rata-rata daerah aliran berdistribusi secara Gumbel.



TABEL 3.10 : PENGUJIAN KESESUAIAN DISTRIBUSI HUJAN

No	DATA X_i (mm)	Prob.Distr.Emp. (P_e)	Prob.Distr.Teori (P_t)	SELISIH ABS
1	68,36	0,07	0,07	0,01
2	51,41	0,13	0,19	0,06
3	48,70	0,20	0,23	0,03
4	47,16	0,27	0,26	0,01
5	46,12	0,33	0,27	0,06
6	45,10	0,40	0,29	0,11
7	38,68	0,47	0,43	0,04
8	31,13	0,53	0,63	0,09
9	30,70	0,60	0,64	0,04
10	29,48	0,67	0,67	0,00
11	27,85	0,73	0,72	0,02
12	26,48	0,80	0,75	0,05
13	26,10	0,87	0,76	0,11
14	14,04	0,93	0,97	0,04
Σ				0,11

3.3.3. HUJAN EFEKTIF

Hujan efektif adalah hujan yang menyebabkan debit aliran langsung yang didapatkan dari perumusan :

$$R_{24} = \alpha \times R_x$$

dimana :

R_{24} = Tinggi Curah hujan efektif dalam waktu 24 jam

α = Koefisien pengaliran

R_x = Tinggi curah hujan rencana

Besarnya koefisien pengaliran ini berbeda-beda yang disebabkan oleh topografi daerah pengaliran, perbedaan penggunaan tanah dan lain sebagainya.

Dibawah ini tabel koefisien pengaliran (α) menurut Dr. Mononobe.

TABEL KOEFISIEN PENGALIRAN (α)

Kondisi daerah pengaliran dan sungai	Harga dari α
Daerah pegunungan yang curam	0,75 - 0,90
Daerah pegunungan tersier	0,70 - 0,80
Tanah bergelombang dan hutan	0,50 - 0,75
Tanah dataran yang ditanami	0,45 - 0,60
Persawahan yang diairi	0,70 - 0,80
Sungai di daerah pegunungan	0,75 - 0,85
Sungai kecil di dataran	0,45 - 0,75
Sungai besar yang lebih dari setengah daerah pengalirannya terdiri dari dataran	0,50 - 0,75

Dari pertimbangan topografi daerah pengaliran, proyek PLTA Besai ini termasuk dalam kondisi sungai di daerah pegunungan yang curam. Maka harga rata-rata koefisien pengalirannya adalah 0,80.

Perhitungan hujan efektif menurut periode ulang tertentu dapat dilihat pada tabel 3.11.

TABEL 3.11. : PERHITUNGAN HUJAN EFEKTIF

PERIODE ULANG (Tahunan)	CURAH HUJAN RENCANA (mm)	KOEFISIEN PENGALIRAN	HUJAN EFEKTIF (mm)
2	35,82	0,80	28,66
10	61,00	0,80	48,80
25	73,67	0,80	58,94
50	83,08	0,80	66,46
100	92,41	0,80	73,93
200	101,71	0,80	81,37
1000	123,41	0,80	98,73

3.3.4. DISTRIBUSI HUJAN

3.3.4.1. BERDASARKAN DATA

Yang dimaksud distribusi hujan disini adalah distribusi hujan jam-jaman pada daerah pengaliran PLTA Besai, untuk itu diperlukan data hujan jam-jaman yang tercatat pada stasiun pencatat hujan automatic. Dari data ini dapat dibuat heytoographnya, yaitu grafik hubungan antara hujan komulatif setiap hari dengan waktu.

Untuk PLTA Besai, data hujan jam-jaman dapat dilihat pada tabel 3.12. dan heytographnya dapat dilihat pada gambar 3.3., sedang perhitungan besarnya curah hujan jam-jaman dengan periode ulang tertentu dapat dilihat pada tabel 3.13.

3.3.4.2. BERDASARKAN PERUMUSAN

Dalam perhitungan distribusi hujan tiap jam, untuk daerah aliran sungai dam Besai besarnya curah hujan terpusat adalah 6 jam dalam setiap harinya. Pembagian curah hujan tiap jamnya dihitung dengan menggunakan perumusan yang sering dipakai di Indonesia yaitu metode rasional. Perumusannya adalah sebagai berikut :

1. Perhitungan rata-rata hujan sampai jam ke t.

$$R_t = \frac{R_{24}}{5} \left[\frac{5}{t} \right]^{2/3} \quad (\text{Dr. M. Sholeh, Hidro logi, hal 47})$$

dimana :

R_t = rata-rata curah hujan sampai jam ke t (mm)

R_{24} = Curah hujan efektif dalam waktu 24 jam (mm)

t = waktu hujan (jam)

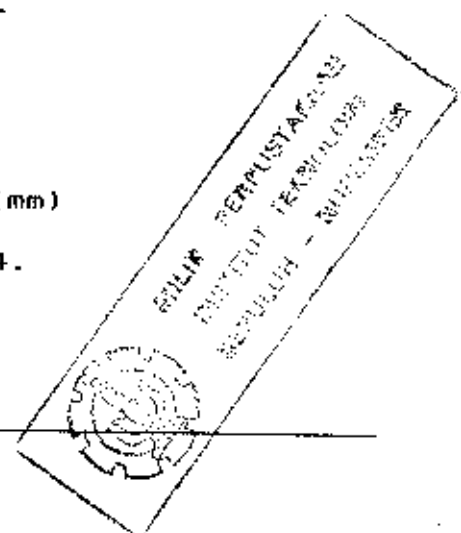
2. Perhitungan tinggi hujan pada jam ke t.

$$R_r = t \cdot R_t - (t - 1) \cdot R_{t-1}$$

dimana :

R_r = Curah hujan pada jam ke t (mm)

Hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 3.14.



TABEL 3.12. : DATA CURAH HUJAN JAM-JAMAN

TAHUN	TANGGAL	CURAH HUJAN						TOTAL
		0 - 1	1 - 2	2 - 3	3 - 4	4 - 5	5 - 6	
1979	4 OKT	57,80	15,80	1,50	0,00	0,00	0,00	75,10
1980	29 FEB	39,40	5,40	1,10	6,50	1,60	0,00	54,00
1981	9 MEI	2,10	41,90	5,30	3,70	0,00	0,00	53,00
1983	21 OKT	22,60	27,50	6,20	0,50	0,20	0,00	51,00
1984	27 APR	25,90	18,00	6,00	12,00	2,00	1,10	65,00
1985	19 MAR	0,20	48,00	2,80	0,00	0,00	0,00	51,00
	11 JUL	45,10	6,90	0,50	1,10	0,50	0,40	54,50
	21 JUL	11,70	30,00	18,00	2,10	0,00	0,00	61,80
	23 JUL	27,30	4,30	15,70	3,00	2,00	0,20	52,50
	11 SEP	24,50	6,30	19,00	4,40	0,80	0,00	55,00
	26 SEP	1,40	2,00	43,80	5,90	1,20	0,00	54,30
	27 OKT	3,60	32,00	42,00	11,90	0,50	0,40	90,40
	AVG	21,80	19,84	12,99	4,26	0,73	0,18	59,80
	%	36,45	33,18	21,73	7,12	1,23	0,29	100,00

Datatan : Data tahun 1979 sampai tahun 1984 diambil dari stasiun automatic Pajar Bulan sedang data tahun 1985 diambil dari stasiun automatic Skinzen.

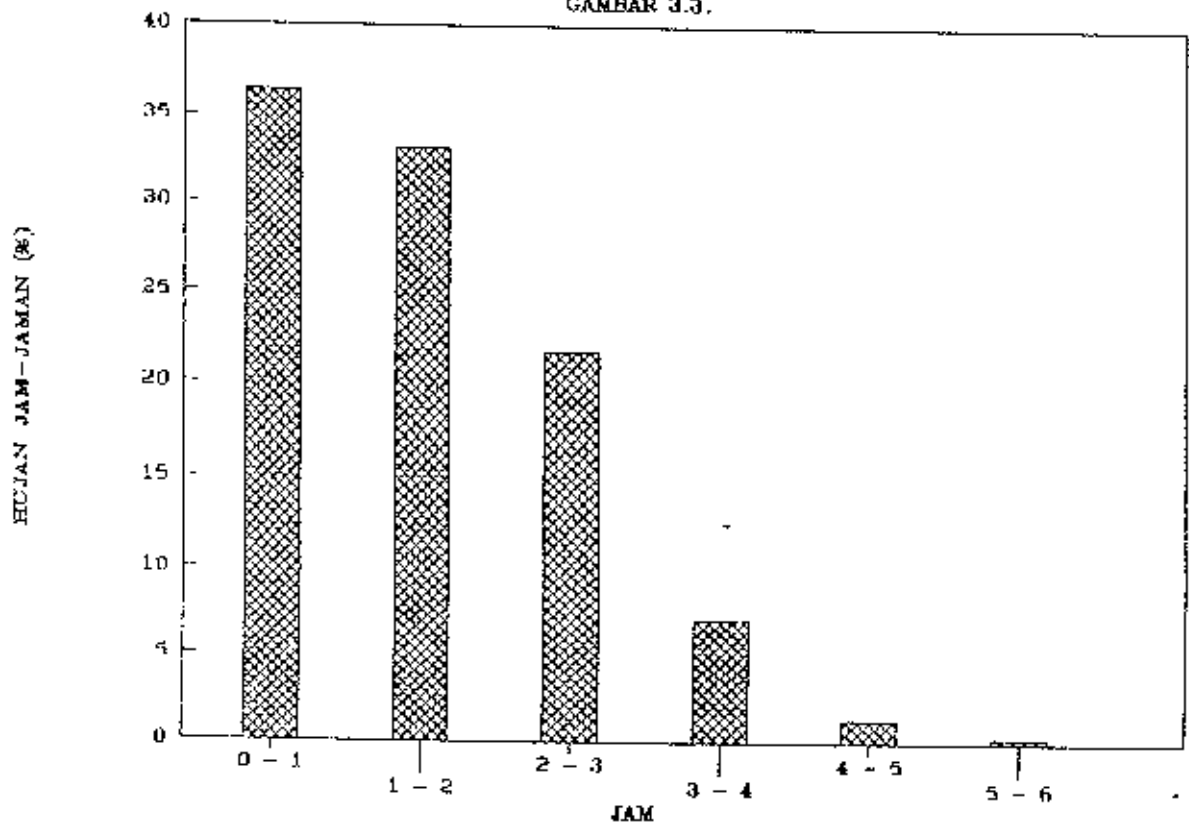
TABEL 3.13 : PERHITUNGAN TINGGI CURAH HUJAN JAM-JAMAN DENGAN PERIODE ULANG TERTENTU

PERIODE	ANGKA BASIS (X)	TINGGI CURAH HUJAN JAM-JAMAN						
		t = 2	t = 10	t = 25	t = 50	t = 100	t = 200	t = 1000
	324	29,62	48,8	58,94	66,46	73,93	81,37	98,73
0 - 1	36,45	10,80	17,79	21,48	24,22	26,95	29,66	35,99
1 - 2	33,18	9,83	16,19	19,36	22,05	24,53	27,00	32,76
2 - 3	21,73	6,44	10,60	12,81	14,44	16,06	17,68	21,45
3 - 4	7,12	2,11	3,47	4,20	4,73	5,26	5,79	7,03
4 - 5	1,23	0,36	0,60	0,72	0,82	0,91	1,00	1,21
5 - 6	0,29	0,08	0,14	0,17	0,19	0,21	0,24	0,29

Hasil pengamatan dari stasiun automatic Pajar Bulan
dan Skincau

HYETOGRAPE

GAMBAR 3.3.



TABEL 3.14 : BESAR CURAH HUJAN PADA JAM KE t
BERDASARKAN PERUMUSAN RATIONAL

PERIODE ULANG	10		100	
HUJAN EFEKTIF (R24)	48,80		73,93	
JAM KE	Rt	RT	Rt	RT
1	28,54	28,54	43,23	43,23
2	17,98	7,42	27,24	11,24
3	13,72	3,20	20,70	7,88
4	11,53	4,14	17,16	6,28
5	9,76	3,30	14,79	5,30
6	8,64	3,06	13,09	4,63



3.3.4.3. PEMILIHAN DISTRIBUSI CURAH HUJAN JAM-JAMAN

Berdasarkan data curah hujan jam-jaman yang tercatat pada stasiun automatic Pajar Bulan dan Skincau dapat dihitung distribusi curah hujannya. Namun ada suatu perumusan distribusi curah hujan untuk daerah yang tidak mempunyai stasiun automatic. Dari perumusan hujan jam-jaman dengan dari data hujan jam-jaman dari stasiun automatic terdapat perbedaan distribusi hujan, hal ini disebabkan karena pada perumusan jam-jaman dapat dipakai untuk kondisi daerah yang berbeda-beda. Dalam studi PLTA Besai ini tetap diambil dari data hujan jam-jaman dari stasiun automatic karena :

1. Setelah dihitung untuk hidrograph banjir dari data distribusi hujan stasiun automatic dibandingkan dengan distribusi hujan dengan cara perumusan menghasilkan debit yang lebih besar. Karena perbedaan debit banjir antara data stasiun automatic dengan cara perumusan yang tidak terlalu besar, maka untuk biaya pembangunan konstruksinya tidak jauh berbeda namun tingkat keamanan terhadap banjir lebih terjamin.
 2. Lebih akurat karena sesuai dengan keadaan lapangan yang diambil dari stasiun automatic.
-

3.3.5. DEBIT BANJIR RENCANA

Pada studi ini, perhitungan debit banjir rencana menggunakan metode hidrograf satuan sintetis Nakayatsu.

Besarnya debit banjir yang disebabkan oleh satuan spesifik curah hujan dinyatakan dengan rumus sebagai berikut :

$$Q_{\max} = \frac{A \times R_o}{3,6 (0,3 T_p + T_{0,9})} \quad \text{(Ir. CD Soemarto, Hidrologi Teknik, hal 168)}$$

dimana :

Q_{\max} = Debit maximum

A = Luas catchment area

R_o = Tinggi curah hujan spesifik (.1 mm/jam)

T_p = Waktu permulaan banjir sampai mencapai puncak banjir

$T_{0,9}$ = waktu puncak banjir sampai dengan waktu pada saat debit banjir menyusut sebesar 30% dari debit puncak banjir.

Untuk mendapatkan T_p dan $T_{0,9}$ digunakan rumus-rumus sebagai berikut :

$$T_p = T_g + 0,8 T_r$$

$$T_{0,9} = C \times T_g$$

dimana :

T_g = Lag time, yaitu waktu antara hujan sampai debit puncak, harganya tergantung dari panjang sungai.

Untuk : $L > 15 \text{ km} \longrightarrow T_g = 0,4 + 0,058 L$

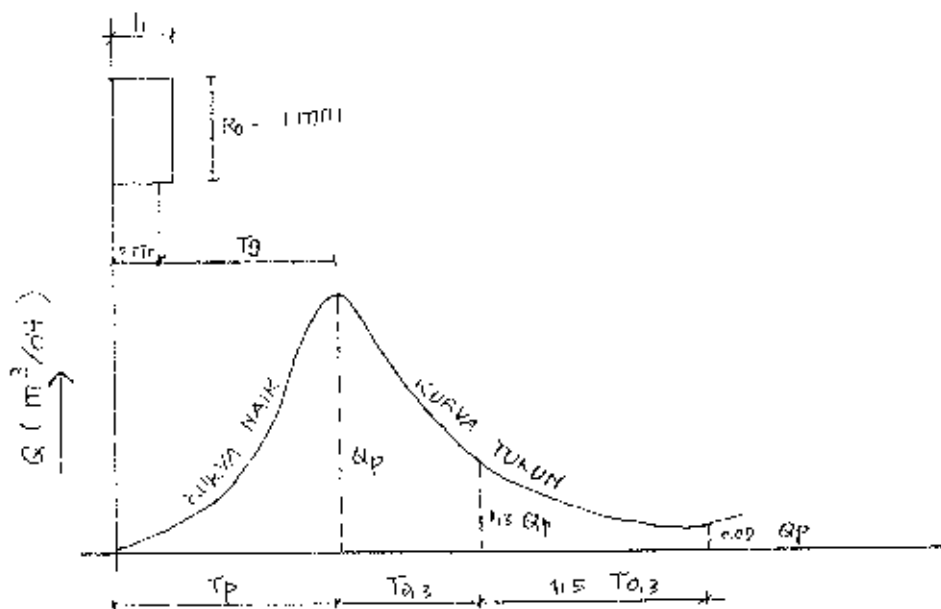
$L < 15 \text{ km} \longrightarrow T_g = 0,21 \times L^{0,7}$

T_r = Satuan dari curah hujan, disini diambil 1 jam

C = Suatu koefisien Nakayatsu yang besarnya berkisar antara 1,5 sampai 3,5

L = Panjang sungai (km).

Bentuk kurvanya dinyatakan sebagai berikut :



Persamaan hidrograph satuannya adalah sebagai berikut :

1. KURVA NAIK

Untuk $0 < t < T_p$

$$Q = \left(\frac{t}{T_p} \right)^{2,4} \times Q_{\max}$$

2. KURVA TURUN

a. Untuk $T_p < t < T_p + T_{0,3}$

$$Q = 0,3 \left(\frac{t - T_p}{T_{0,3}} \right) \times Q_{\max}$$

b. Untuk $(T_p + T_{0,3}) < t < (T_p + T_{0,3} + 1,5 T_{0,3})$

$$Q = 0,3 \left(\frac{t - T_p + 0,5 T_{0,3}}{1,5 T_{0,3}} \right) \times Q_{\max}$$

c. Untuk $t > (T_p + T_{0,3} + 1,5 T_{0,3})$

$$Q = 0,3 \left(\frac{t - T_p + 1,5 T_{0,3}}{2 T_{0,3}} \right) \times Q_{\max}$$

Perhitungannya dapat dilihat dibawah ini :

diketahui $A = 415 \text{ km}^2$

$$L = 30 \text{ km}$$

karena $L > 15 \text{ km}$, maka $T_g = 0,4 + 0,058 L$

$$= 0,4 + 0,058 \times 30$$

$$= 2,14 \text{ jam}$$

$$T_p = T_g + 0,8 T_r$$

$$= 2,14 + 0,8 \times 1$$

$$= 2,94 \text{ jam} \approx 3 \text{ jam}$$

$$\begin{aligned}
 T_{0,3} &= C \times T_g \\
 &= 2,5 \times 2,14 \\
 &= 5,35 \text{ jam}
 \end{aligned}$$

Perhitungan debit banjir untuk $R_0 = 1 \text{ mm}$:

$$\begin{aligned}
 Q_{\max} &= \frac{A \times R_0}{3,6 (0,3 T_p + T_{0,3})} \\
 &= \frac{415 \times 1}{3,6 (0,3 \times 2,94 + 5,35)} \\
 &= 18,50 \text{ m}^3/\text{dt}
 \end{aligned}$$

Dengan kondisi kurva sebagai berikut :

1. KURVA NAIK

Untuk $0 < t < T_p$

$$0 < t < 2,94$$

$$Q = \left(\frac{t}{2,94} \right)^{2,4} \times 18,50$$

Hasil perhitungan ditabelkan sebagai berikut :

t	$(t/2,94)^{2,4}$	Q
1	0,08	1,39
2	0,40	7,34

2. KURVA TURUN

a. Untuk $T_p < t < (T_p + T_{0,3})$

$$2,94 < t < 8,29$$

$$Q = 0,3 \left[\frac{t - 2,94}{5,35} \right] \times 18,50$$

Hasil perhitungan ditabelkan sebagai berikut :

t	$0,3^{((t-2,94)/5,35)}$	Q
3	0,987	18,25
4	0,788	14,57
5	0,629	11,64
6	0,502	9,29
7	0,401	7,42
8	0,320	5,92

b. Untuk $(T_p + T_{0,3}) < t < (T_p + T_{0,3} + 1,5 T_{0,3})$

$$8,29 < t < 16,32$$

$$Q = 0,3 \left[\frac{t - 2,94 + 2,68}{8,03} \right] \times 18,50$$

Hasil perhitungan ditabelkan sebagai berikut :

t	$0,3^{((t-2,94+2,68)/8,03)}$	Q
9	0,270	4,99
10	0,232	4,29
11	0,200	3,70
12	0,172	3,18
13	0,148	2,74
14	0,127	2,36
15	0,110	2,03
16	0,094	1,75

c. Untuk $t > (T_p + T_{0,3} + 1,5 T_{0,3})$

$$t > 16,32$$

$$Q = 0,3 \left[\frac{t - 2,94 + 8,03}{10,70} \right] \times 18,50$$

Hasil perhitungan ditabelkan sebagai berikut :

t	$0,3^{((t-2,94+8,03)/10,70)}$	Q
17	0,083	1,54
18	0,074	1,38
19	0,066	1,23
20	0,059	1,10

Selanjutnya perhitungan debit banjir dengan cara hidrograph satuan Nakayatsu dapat dilihat pada tabel 3.15. & tabel 3.16 (dari data stasiun hujan automatic) dan tabel 3.17 & tabel 3.18 (dari perumusan hujan jam-jaman) serta gambar hidrographnya dapat dilihat pada gambar 3.4 & 3.5 (dari data stasiun hujan automatic) dan gambar 3.6 & 3.7 (dari perumusan hujan jam-jaman).

Tabel 3.15 : Hidrografi Bawih Senayan 100 Tahun
 Berdasarkan Data Hujan Automatic Pada Tasek 3.13 Hal 25

JAM	HIDROGRAFI	(mm/det)										(mm/det)	
		0 - 1	1 - 2	2 - 3	3 - 4	4 - 5	5 - 6	6 - 7	7 - 8	8 - 9	9 - 10	0 - 1	0 - 2
1		37,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,23	0,23
2		7,34	197,81	34,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,26	1,26
3		18,25	491,84	180,05	22,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,26	7,20
4		14,57	392,66	447,67	117,88	7,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,26	25,72
5		11,64	315,70	357,40	293,10	38,61	1,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,26	55,76
6		9,29	250,37	285,33	233,99	96,00	6,68	0,29	0,00	0,00	0,00	0,26	92,10
7		7,42	199,97	221,88	185,54	76,64	16,61	1,54	0,00	0,00	0,00	0,26	105,28
8		5,92	150,54	182,01	149,20	61,23	13,26	3,83	0,00	0,00	0,00	0,26	116,47
9		4,99	134,48	145,22	119,17	48,87	10,39	3,05	0,00	0,00	0,00	0,26	132,61
10		4,29	115,62	122,40	95,08	39,03	8,45	2,44	0,00	0,00	0,00	0,26	152,94
11		3,70	95,72	105,23	80,14	31,14	6,75	1,95	0,00	0,00	0,00	0,26	177,60
12		3,18	85,70	90,76	68,50	26,25	5,39	1,56	0,00	0,00	0,00	0,26	206,30
13		2,74	73,84	78,04	59,42	22,57	4,54	1,24	0,00	0,00	0,00	0,26	239,62
14		2,36	63,60	67,21	51,07	19,46	3,90	1,05	0,00	0,00	0,00	0,26	278,55
15		2,03	54,71	57,89	44,00	16,73	3,37	0,90	0,00	0,00	0,00	0,26	324,93
16		1,75	47,16	49,90	37,90	14,41	2,89	0,78	0,00	0,00	0,00	0,26	383,02
17		1,54	41,50	42,93	32,60	12,41	2,49	0,67	0,00	0,00	0,00	0,26	461,38
18		1,38	37,19	37,73	28,11	10,68	2,15	0,58	0,00	0,00	0,00	0,26	569,07
19		1,23	33,15	33,85	24,73	9,23	1,85	0,50	0,00	0,00	0,00	0,26	709,58
20		1,10	29,65	30,17	19,75	7,26	1,40	0,37	0,00	0,00	0,00	0,26	872,86
												0,23	1,004,07
												0,23	965,53
												0,23	694,23
												0,23	231,91
												0,23	37,45

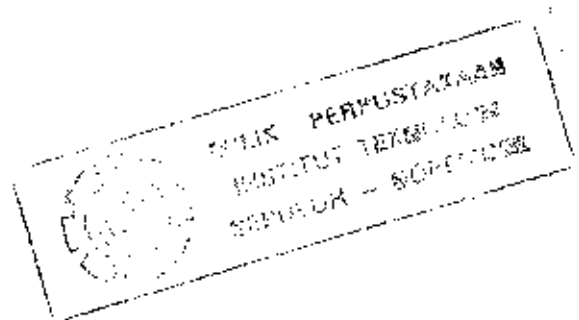
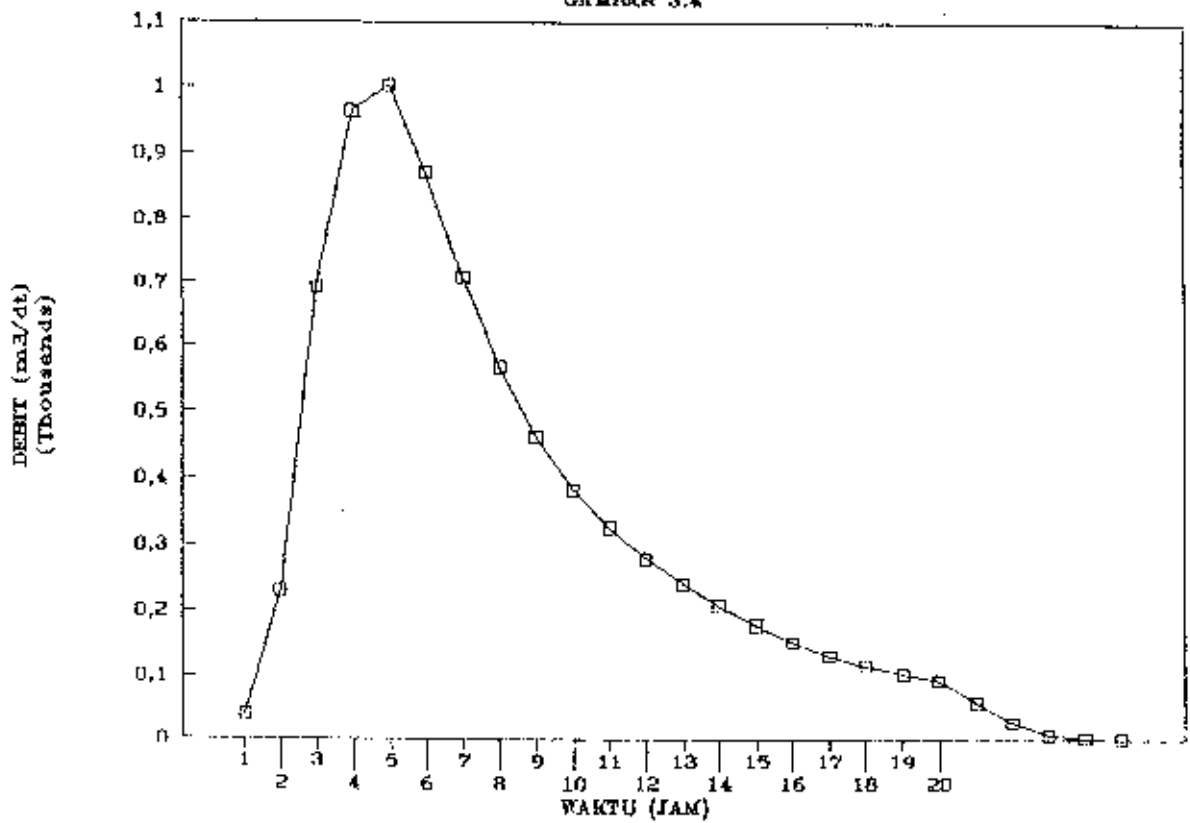
2038 = 1704,07 63/45

BERDASARKAN DATA HUJAN AUTOMATIC.

DARI TABEL 3.15

HIDROGRAPH BANJIR RENCANA 100 TAHUN

GAMBAR 3.4



TABEL 3.16 : HIDROGRAFI BANJIR RENCANA 10 TAHUN
BERDASARKAN DATA HUJAN AUTOMATIC PADA TABEL 3.13 HAL 25

JAM	UNIT HIDROGRAFI (m ³ /dt/jam)	0 - 1	1 - 2	2 - 3	3 - 4	4 - 5	5 - 6	0 (m ³ /dt)
		17,79	16,19	10,60	3,47	0,60	0,14	
1	1,39	24,73	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	24,73
2	7,34	130,58	22,50	0,00	0,00	0,00	0,00	153,03
3	18,25	324,67	118,83	14,73	0,00	0,00	0,00	458,24
4	14,57	259,20	295,47	77,80	4,82	0,00	0,00	637,30
5	11,64	207,08	238,89	193,45	25,47	0,83	0,00	662,72
6	9,29	163,27	188,45	134,44	63,33	4,40	0,19	576,09
7	7,42	132,00	150,41	123,38	50,56	10,85	1,03	468,33
8	5,92	103,32	120,13	98,47	40,39	8,74	2,56	375,61
9	4,99	86,77	95,84	78,66	32,24	6,98	2,04	304,53
10	4,29	76,32	80,79	62,75	25,75	5,57	1,63	252,81
11	3,70	65,82	69,46	52,89	20,54	4,45	1,30	214,47
12	3,18	56,57	59,90	45,47	17,32	3,55	1,04	183,86
13	2,74	48,74	51,48	39,22	14,89	2,99	0,83	158,16
14	2,36	41,98	44,36	33,71	12,84	2,57	0,70	136,16
15	2,03	36,11	38,21	29,04	11,03	2,22	0,60	117,22
16	1,75	31,13	32,07	25,02	9,51	1,91	0,52	100,95
17	1,54	27,40	28,33	21,52	8,19	1,64	0,45	87,53
18	1,36	24,55	24,93	18,57	7,64	1,42	0,38	76,88
19	1,23	21,88	22,34	16,32	6,07	1,22	0,33	68,17
20	1,10	19,57	19,91	14,63	5,34	1,05	0,28	60,79
			17,81	13,04	4,79	0,92	0,25	36,80
				11,66	4,27	0,83	0,22	16,97
					3,62	0,74	0,19	4,75
						0,66	0,17	0,83
							0,15	0,15

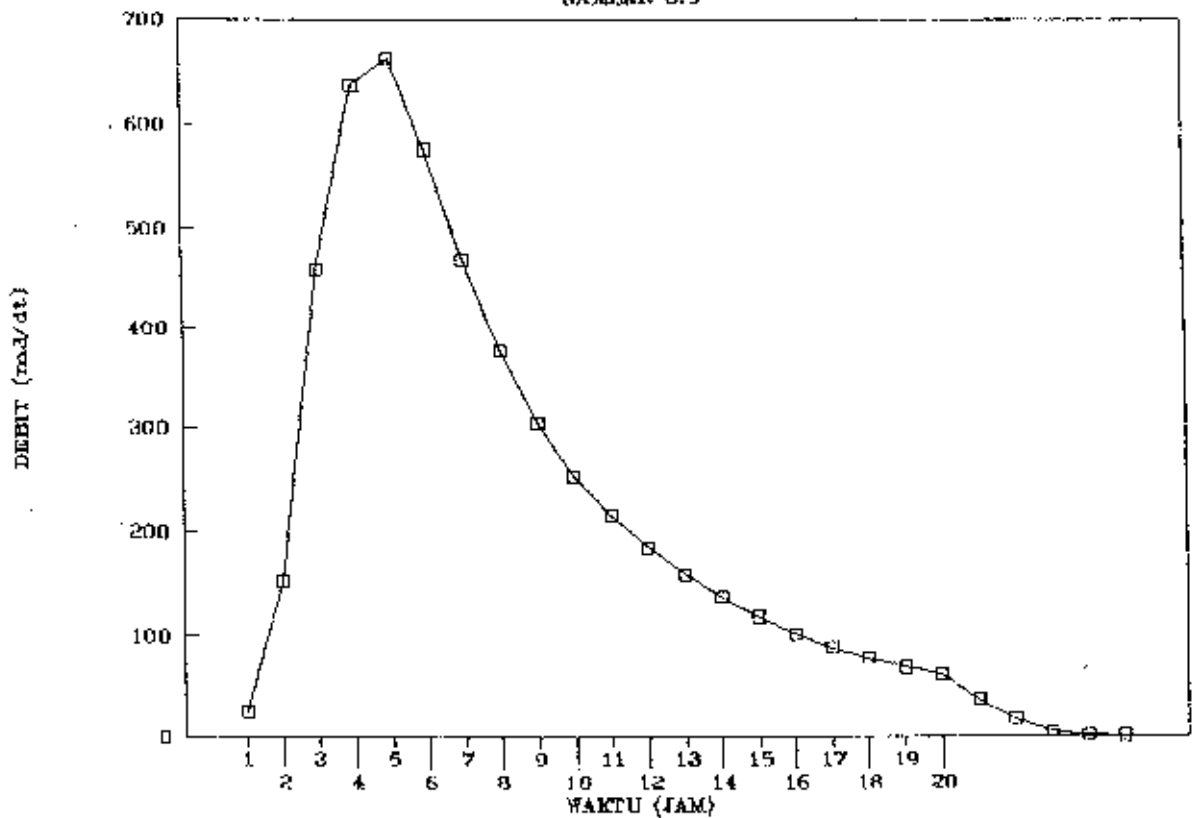
$Q_{max} = 662,72 \text{ m}^3/\text{dt}$

BERDASARKAN DATA HUJAN AUTOMATIC.

DARI TABEL 3.16

HIDROGRAPH BANJIR RENCANA 10 TAHUN

GAMBAR 3.5



TABEL 3.17 : HIDROGRAPH BANJIR RENCANA LOO TAHUN
BERDASARKAN PERUMUSAN HAL 24 SESUAI TABEL 3.14 HAL 27

JAM	UNIT HIDROGRAPH (m ³ /dt/mm)	0 - 1	1 - 2	2 - 3	3 - 4	4 - 5	5 - 6	0 (m ³ /dt)
		43,23	11,24	7,88	6,28	5,3	4,63	
1	1,39	60,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	60,09
2	7,34	317,31	15,62	0,00	0,00	0,00	0,00	332,93
3	18,25	788,95	82,50	10,95	0,00	0,00	0,00	882,40
4	14,57	629,86	205,13	57,84	8,73	0,00	0,00	901,56
5	11,64	503,20	163,77	143,81	46,10	7,37	0,00	864,24
6	9,29	401,61	130,83	114,81	114,61	38,90	6,44	807,20
7	7,42	329,77	104,42	91,72	91,50	96,73	33,98	739,12
8	5,92	255,92	83,40	73,21	73,10	77,22	84,50	647,35
9	4,99	215,72	66,54	58,47	58,34	61,69	67,46	528,22
10	4,29	185,46	56,09	46,65	46,60	49,24	53,87	437,52
11	3,70	159,95	48,22	39,32	37,18	39,33	43,01	367,01
12	3,18	137,47	41,55	33,81	31,34	31,38	34,35	309,93
13	2,74	118,45	35,74	29,16	26,94	26,45	27,41	264,15
14	2,36	102,02	30,80	25,06	23,24	22,74	23,10	226,96
15	2,03	87,76	26,53	21,59	19,97	19,61	19,86	195,32
16	1,75	75,65	22,82	18,60	17,21	16,85	17,13	168,26
17	1,54	66,87	19,67	16,00	14,82	14,52	14,72	146,31
18	1,38	59,66	17,31	13,79	12,75	12,51	12,69	128,70
19	1,23	53,17	15,31	12,14	10,99	10,76	10,93	113,50
20	1,10	47,35	13,83	10,87	9,67	9,28	9,40	100,60
			12,36	9,69	8,67	8,16	8,10	46,99
				8,67	7,72	7,31	7,13	30,84
					6,91	6,52	6,39	19,82
						5,83	5,69	13,52
							5,09	5,09

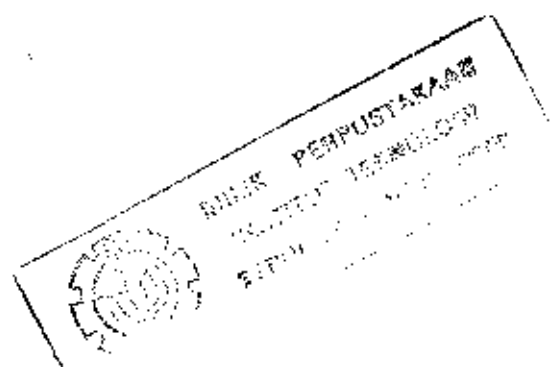
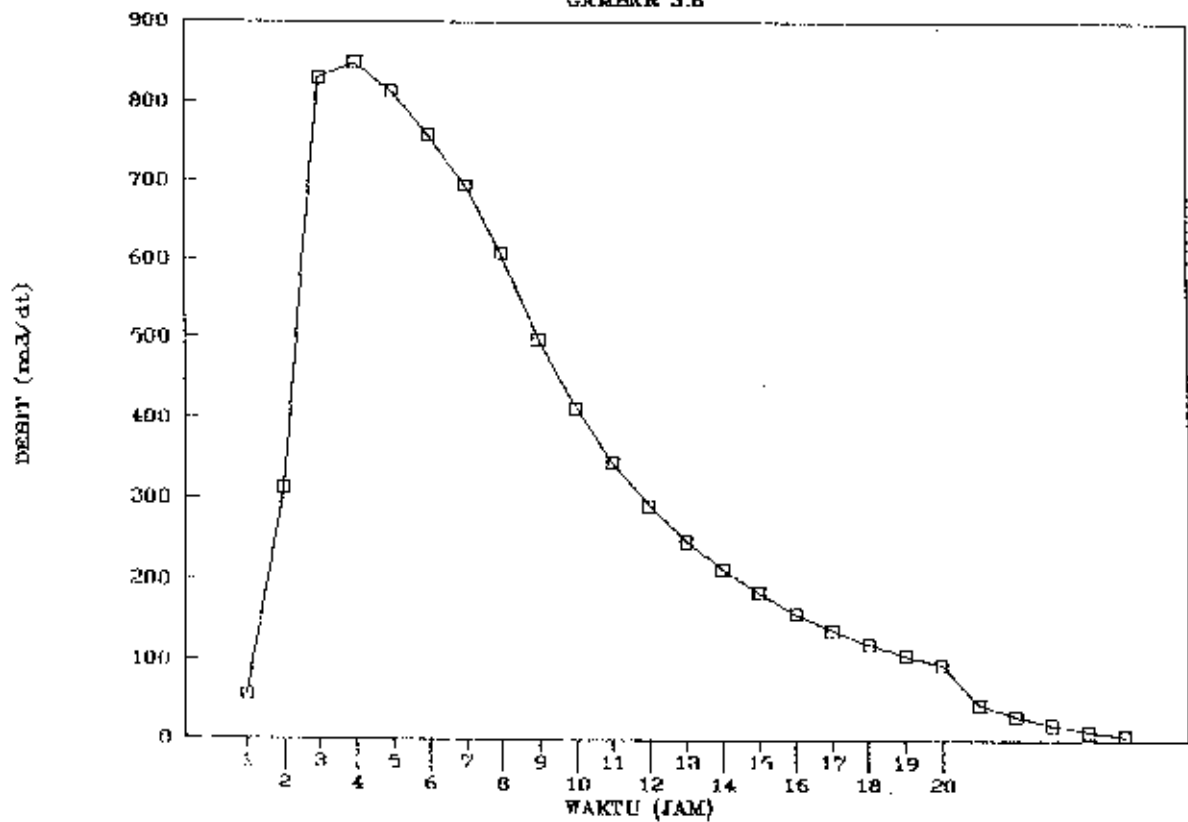
$G_{max} = 901,56 \text{ m}^3/\text{dt}$

BERDASARKAN PERUMUSAN.

DARI TABEL 3.17

HIDROGRAPH BANJIR RENCANA 100 TAHUN

GAMBAR 3.6



TABEL 3.18 : HIDROGRAPH BANJIR RENCANA 10 TAHUN
BERDASARKAN PERUMUSAN HAL 24 SESUAI TABEL 3.14 HAL 27

JAM	UNTUK HIDROGRAPH (m ³ /dt/mm)	0 - 1	1 - 2	2 - 3	3 - 4	4 - 5	5 - 6	Q (m ³ /dt)
		28,54	7,42	5,29	4,14	3,59	3,06	
1	1,39	39,67	9,00	0,00	0,00	0,00	0,00	39,67
2	7,34	209,48	19,31	0,00	0,00	0,00	0,00	219,80
3	18,25	520,96	54,46	7,23	0,00	0,00	0,00	582,55
4	14,57	415,83	135,42	38,17	5,75	0,00	0,00	595,17
5	11,64	332,21	108,11	94,90	30,39	4,86	0,00	570,47
6	9,29	265,14	86,37	75,76	75,56	25,69	4,25	532,77
7	7,42	211,77	68,93	60,53	60,32	63,88	22,46	497,88
8	5,92	168,96	55,06	48,31	48,19	51,00	55,85	427,35
9	4,99	142,41	43,93	38,58	38,46	40,74	44,58	348,71
10	4,29	122,44	37,03	30,78	30,72	32,52	35,62	289,10
11	3,70	105,60	31,83	25,95	24,51	25,97	28,43	242,28
12	3,19	90,76	27,45	22,31	20,66	20,72	22,71	204,60
13	2,74	78,20	23,60	19,24	17,76	17,47	18,12	174,38
14	2,36	67,35	20,33	16,54	15,32	15,02	15,27	149,82
15	2,03	57,94	17,51	14,25	13,17	12,95	13,13	128,94
16	1,75	49,95	15,06	12,27	11,34	11,13	11,32	111,08
17	1,54	43,95	12,99	10,56	9,77	9,59	9,73	96,58
18	1,38	39,39	11,43	9,10	8,40	8,26	8,38	84,96
19	1,23	35,60	10,24	8,01	7,25	7,11	7,22	74,92
20	1,10	31,39	9,13	7,18	6,38	6,13	6,21	66,41
			8,16	6,40	5,71	5,39	5,36	31,02
				5,72	5,09	4,83	4,71	20,35
					4,55	4,31	4,22	13,08
						3,85	3,75	7,61
							3,37	3,37

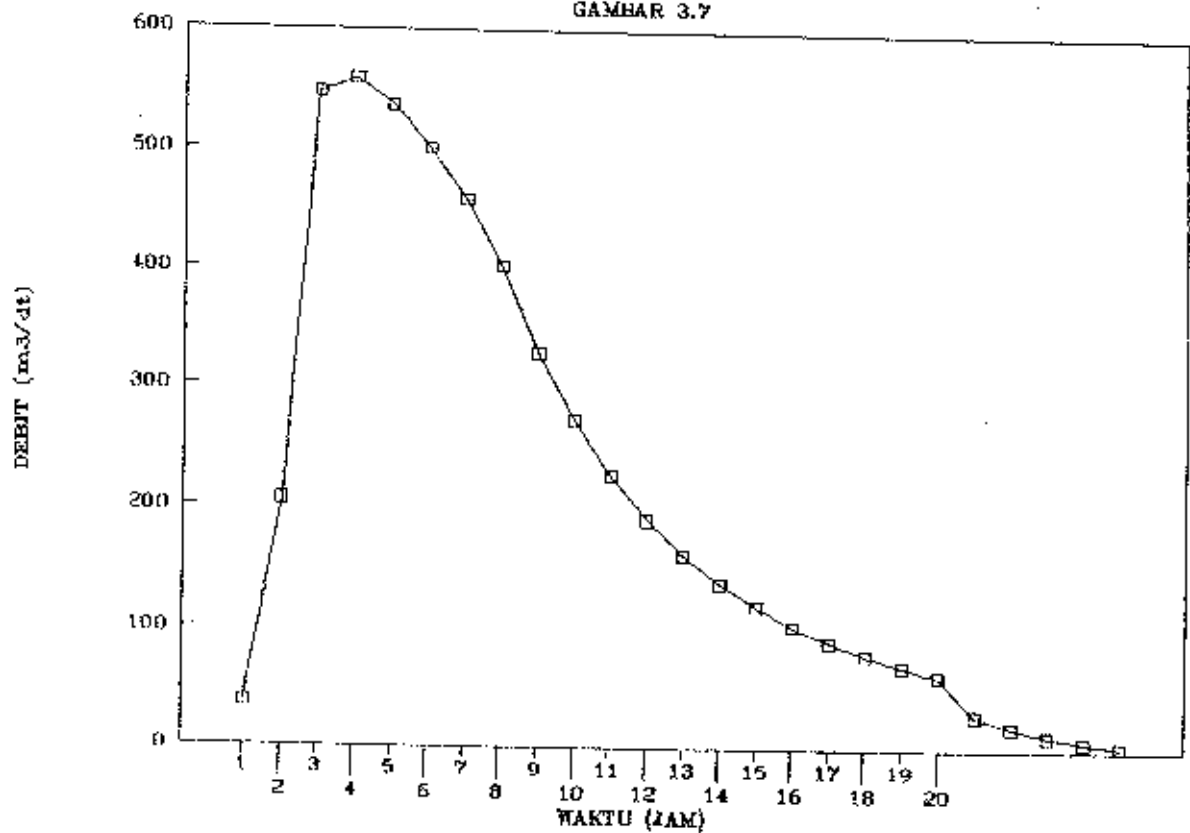
$Q_{max} = 595,17 \text{ m}^3/\text{dt}$

BERDASARKAN PERUMUSAN.

DARI TABEL 3.18

HIDROGRAPH BANJIR RENCANA 10 TAHUN

GAMBAR 3.7



3.4. ANALISA SEDIMEN

Sedimen merupakan persoalan yang terdapat pada setiap pembangunan dam, karena akan mempengaruhi umur dam. Adapun pembagian sedimen berdasarkan :

1. Mekanisme pengangkutan, dapat dibedakan :

a. Bed load (beban dasar)

Adalah gerakan dari partikel yang berhubungan dengan dasar dengan cara menggeser, menggelinding dan melompat.

b. Suspended load (beban suspensi)

Adalah gerakan dari partikel dalam aliran yang pengendapannya terus menerus dipengaruhi oleh gerakan turbulen pada bidang aliran.

2. Asal dari bahan angkutan, dapat dibedakan :

a. Angkutan material dasar (bed material transport)

Adalah angkutan yang berasal dari dasar, berarti bahwa angkutan ditentukan oleh keadaan dasar dan aliran (dapat terdiri dari bed load dan suspended load).

b. Wash load

Adalah material yang tidak terdapat pada dasar dan datangnya dari sumber luar (hanya dapat diangkut sebagai suspended load).

3.4.1. HUBUNGAN DEBIT SEDIMEN DAN DEBIT ALIRAN

Berhubung tidak tersedianya data konsentrasi sedimen dalam jangka waktu yang panjang, maka sebagai dasar pendekatan untuk menghitung volume angkutan sedimen digunakan data konsentrasi sedimen dari data debit pada saat pengambilan sample sedimen dilakukan (tabel 3.19). Data yang diperlukan tersebut diambil dari stasiun pengamat Petai.

Adapun dasar persamaan sedimen adalah " *Perbandingan jumlah sedimen dengan jumlah air akan sama dengan perbandingan arus sedimen dan arus air dalam arti banyaknya volume yang lewat tiap satu satuan waktu (debit) "*.

Sehingga untuk mencari hubungan antara debit sedimen dan debit aliran digunakan persamaan sebagai berikut :

$$Q_s = Q_w \times C \times K$$

(Ir. Nadjadji Anwar MSc,
PSA, hal 135)

dimana :

Q_s = Debit sedimen (ton/hari)

Q_w = Debit aliran (m^3/dt)

C = Konsentrasi sedimen (mg/l)

K = Koefisien satuan (0,0864)

Hasil dari perhitungan debit sedimen dapat dilihat pada tabel 3.19.

TABEL 3.19 : HUBUNGAN DEBIT ALIRAN
DAN DEBIT SEDIMEN

NO	TANGGAL	H (m)	Qw (m ³ /dt)	C (mg/l)	Qs (ton/hr)
1	11-10-1983	0,58	5,95	20	10,28
2	18-10-1983	0,72	8,17	10	7,08
3	21-10-1983	0,95	12,35	20	21,33
4	25-10-1983	0,95	12,35	10	10,67
5	28-10-1983	0,80	9,57	20	16,54
6	01-11-1983	0,61	6,41	10	5,54
7	04-11-1983	0,90	11,40	30	29,54
8	08-11-1983	1,20	17,45	60	90,44
9	11-11-1983	1,57	25,97	70	157,05
10	15-11-1983	1,16	16,59	20	28,67
11	18-11-1983	1,68	28,71	80	198,41
12	22-11-1983	1,50	24,27	40	83,89
13	28-11-1983	1,10	15,34	20	26,50
14	29-11-1983	1,07	14,72	30	38,16
15	30-11-1983	1,02	13,72	10	11,85
16	02-12-1983	1,27	18,97	20	32,79
17	03-12-1983	1,73	29,98	80	207,21
18	05-12-1983	1,11	15,54	50	67,15
19	06-12-1983	1,15	16,38	45	63,69
20	07-12-1983	1,07	14,72	40	50,88
21	08-12-1983	1,04	14,12	40	48,79
22	09-12-1983	1,03	13,92	40	48,09
23	10-12-1983	1,00	13,32	45	51,79
24	11-12-1983	1,04	14,12	40	48,79
25	12-12-1983	1,03	13,92	45	54,10
26	13-12-1983	1,00	13,32	20	23,02
27	14-12-1983	1,06	14,52	30	37,63
28	15-12-1983	1,50	24,27	70	146,80
29	16-12-1983	1,33	20,31	65	114,09
30	17-12-1983	1,62	27,20	30	70,51
31	18-12-1983	1,41	22,15	20	38,27
32	19-12-1983	1,30	19,64	30	50,91
33	20-12-1983	1,26	18,75	35	56,71
34	21-12-1983	1,07	14,72	20	25,44
35	22-12-1983	1,04	14,12	25	30,49
36	23-12-1983	1,00	13,32	20	23,02

Dari tabel 3.19 dapat dibuat hubungan antara debit sedimen dan debit aliran dengan cara pendekatan yaitu cara power regresi, yang merupakan harga korelasi antara debit aliran dan debit suspended load.

Adapun perumusan power regresi sebagai berikut :

$$Q_s = a \cdot Q_v^b$$

(Ray K Linsley, Water Resources
engineering, hal 170)

dimana :

Q_s = Debit suspended (ton/hari)

Q_v = Debit aliran (m^3/dt)

a = Konstanta regresi

b = Konstanta regresi

Dengan memasukkan data debit aliran maka diperoleh hubungan antara debit suspended load dan debit aliran sungai sebagai berikut :

$$Q_s = 0,154 \cdot Q_v^{2,031}$$

Dengan hasil koefisien korelasi (r) = 0,9.

3.4.2. JUMLAH ANGKUTAN SEDIMEN

ANGKUTAN SUSPENDED LOAD

Dengan memasukkan data debit rata-rata tahunan kedalam persamaan power regresi didapatkan debit angkutan suspended load (tabel 3.20). Dari lama kejadian yakni 14 tahun, dijumlahkan kemudian dibuat rata-ratanya didapatkan angkutan suspended load rata-rata tahunan.

TABEL 3.20 : ANGKUTAN SUSPENDED LOAD

TARIK	QW (m ³ /dt)	Qs (ton/hr)	Bs (ton/t)		
				Bs = 0,154 + 0,002,033	
1975	19,30	62,88	22,949,88	25,175,74	22,949,88
1976	20,20	68,97	25,175,74	41,708,58	75,990,80
1977	25,90	114,27	41,708,58	75,990,80	35,427,44
1978	34,80	208,19	75,990,80	35,427,44	30,776,61
1979	23,90	97,06	35,427,44	30,776,61	44,366,78
1980	22,30	84,32	30,776,61	44,366,78	21,290,92
1981	26,70	121,55	44,366,78	21,290,92	31,339,80
1982	18,60	58,33	21,290,92	31,339,80	42,368,32
1983	22,50	85,86	31,339,80	42,368,32	34,827,92
1984	26,10	116,07	42,368,32	34,827,92	44,704,92
1985	23,70	95,42	34,827,92	44,704,92	38,189,59
1986	26,80	122,48	44,704,92	38,189,59	27,566,68
1987	24,80	104,63	38,189,59	27,566,68	102,92
1988	24,60	102,92	102,92	102,92	102,92
TOTAL			1,442,96	525,680,97	525,680,97

Angkutan suspended load rata-rata per tahun :

$$\frac{\text{Total sedimen}}{\Sigma \text{ tahun}} = \frac{526.680,97}{14}$$

$$= 37620,07 \text{ ton/th}$$

ANGKUTAN BED LOAD

Dalam memperhitungkan angkutan bed load lebih sulit dibandingkan angkutan suspended load, maka untuk mempermudah digunakan prosentase dari suspended load sesuai tabel Barland dan Maddock. Dimana tabel tersebut berdasarkan konsentrasi suspended load, jenis material dasar sungai dan material suspended load.

TABEL BARLAND DAN MADDOCK

Konsentrasi Suspended Load	Jenis Material Dasar Sungai	Jenis Material Suspended Load	% Bed Load thd Suspended Load
Rendah < 1000 ppm	pasir	sama dengan bed load	25 - 50%
	kerikil, batu, clay	clay, silt + sedikit pasir	5 - 12%
Sedang 1000 - 7500 ppm	pasir	sama dengan bed load	6 - 35%
	kerikil, batu, clay	clay, silt + 25% pasir	5 - 12%
Tinggi > 7500 ppm	pasir	sama dengan bed load	5 - 12 %
	kerikil, batu, clay	clay, silt + 25% pasir	2 - 8%

Dengan melihat konsentrasi suspended load yang terjadi sebesar 80 mg/l (30,19 ppm) dan tabel Barland dan Maddock, maka dapat ditentukan bahwa jenis konsentrasi suspended load rendah (30,19 ppm). Sehingga besar prosentase bed load terhadap suspended load adalah 5 - 12%.

$$\begin{aligned}\text{Angkutan bed load} &= 12\% \times \text{suspended load} \\ &= 12\% \times 37620,07 \\ &= 4514,41 \text{ ton/th}\end{aligned}$$

Jadi jumlah angkutan sedimen total adalah jumlah dari suspended load dan bed load. Jumlah angkutan suspended load sebesar 37620,07 ton/th dan jumlah angkutan bed load sebesar 4514,41 ton/th.

$$\begin{aligned}\text{Jadi total angkutan sedimen} &= 37620,07 + 4514,41 \\ &= 42134,48 \text{ ton/th.}\end{aligned}$$

3.4.3. PENGENDAPAN SEDIMEN PADA DAM

Setelah mengetahui jumlah sedimen baik itu berupa suspended load maupun bed load, maka untuk mengetahui jumlah sedimen yang mengendap pada dam harus diketahui dulu rapat massa dan trap effisiensinya.

MENENTUKAN RAPAT MASSA

Menentukan rapat massa sedimen selama T tahun ($T = 50$ th), dalam hal ini dipakai perumusan dari " Lane and Koelzer " (1953) yang memperkirakan rapat massa di dam sebagai berikut :

$$\rho_{br} = \rho_{bl} + B \log T$$

(Ir. Bambang Soejadi, Dipl HE ,
Sediment Transport, hal 23)

dimana :

T = Waktu (tahun)

B = Koefisien konsolidasi

ρ_{bl} = Rapat massa mula-mula diambil harganya setelah 1 tahun konsolidasi, untuk operasi waduk " keadaan normal suatu penurunan waduk sedang " $\rho_{bl} = 1185$ dan $B = 45$.

$$\begin{aligned}\rho_{br} &= \rho_{bl} + B \log T \\ &= 1185 + 45 \log 50 \\ &= 1261,45 \text{ kg/m}^3 \\ &= 1,26145 \text{ ton/m}^3\end{aligned}$$

Jadi rapat massa setelah 50 tahun adalah $1,26145 \text{ ton/m}^3$.

$$\begin{aligned}\text{Total sedimen} &= \frac{\text{total angkutan sedimen}}{\text{rapat massa}} \\ &= \frac{42134,48}{1,26145} \\ &= 33401,62 \text{ m}^3/\text{th}\end{aligned}$$



TRAP EFISIENSI

Yang dimaksud dengan trap efisiensi adalah perbandingan antara banyaknya sedimen yang diendapkan dengan total sedimen inflow. Untuk kepentingan ini digunakan kurva yang dibuat oleh "gunnar brune" pada gambar 3.8 yaitu kurva hubungan antara besarnya trap efisiensi waduk dengan perbandingan kapasitas inflow.

$$\text{Kapasitas Reservoir} = 0,619 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

$$\text{Inflow rata-rata tahunan} = 24,3 \text{ m}^3/\text{dt}$$

$$\text{Jadi volume inflow selama 1 tahun} = 24,3 \times 365 \times 24 \times 3600$$

$$= 766.3248.000 \text{ m}^3$$

$$= 766,32 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

$$\text{Capacity inflow ratio} = \frac{0,619 \cdot 10^6}{766,32 \cdot 10^6} = 0,0008$$

Dari grafik reservoir trap efisiensi diperoleh sedimen tertangkap (sediment trapped) sebesar 0,1%

$$\text{Jadi volume sedimen selama 50 tahun} = 0,001 \times 33401,62 \times 50$$

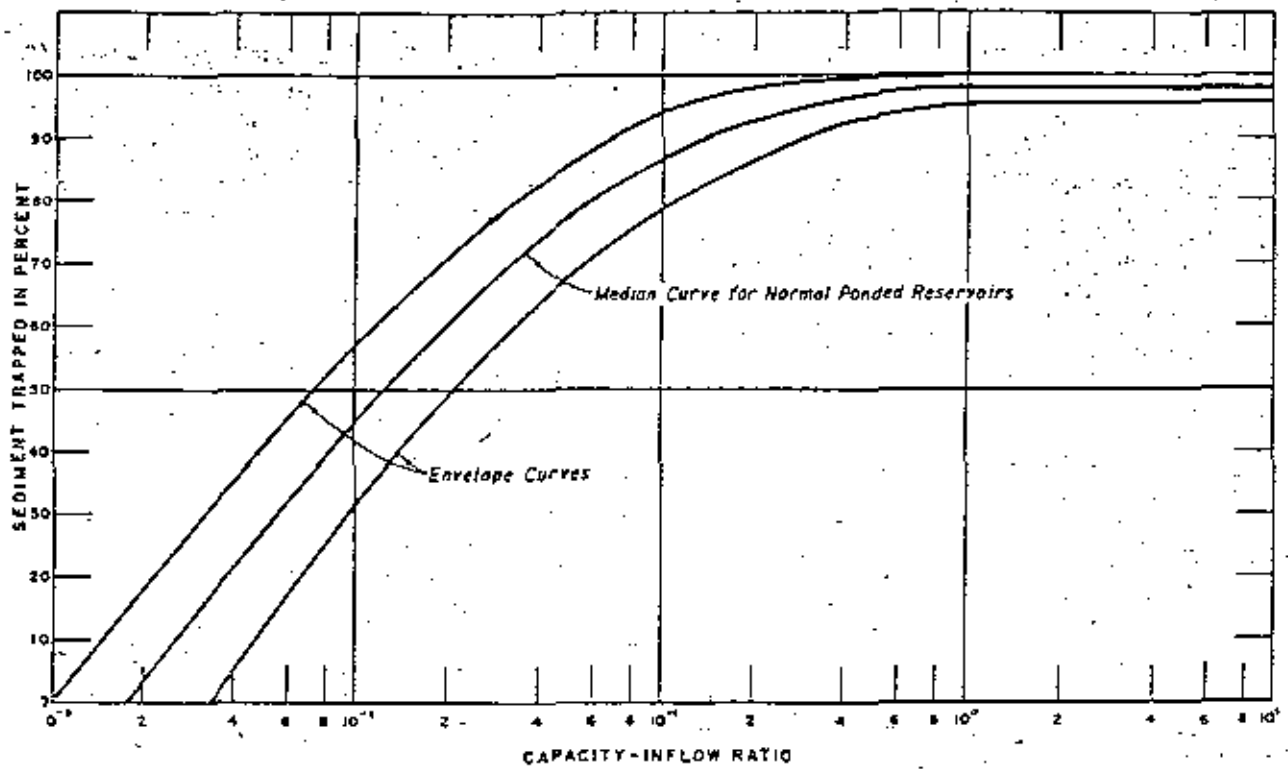
$$= 1670,08 \text{ m}^3$$

$$= 0,0017 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

Kemudian dari grafik lengkung kapasitas didapat elevasi + 714,36 m.

778

DESIGN OF SMALL DAMS



Reservoir trap efficiency. Adapted from Brune [14], 288-D-2845.

GAMBAR 3.8.

GRAFIK TRAP EFFISIENSI

TABEL 3.9. : PERBANDINGAN PROBABILITAS TINGGI CURAH HUJAN
RENCANA DAN ALTERNATIF PEMILIHAN

PERIODE ULANG (Tahunan)	GUMBEL	LOG PEARSON TYPE III	ALTERNATIF PEMILIHAN
2	35,82	37,02	35,82
10	61,00	66,03	61,00
25	73,67	62,99	73,67
50	83,08	67,35	83,08
100	92,41	71,11	92,41
200	101,71	74,45	101,71
1000	123,41	81,85	123,41

BAB IV

STUDI PRA PERENCANAAN PLTA

4.1. DEBIT DASAR PEMBANGKITAN

Debit dasar pembangkitan adalah debit yang diperhitungkan dapat dilepas dalam pengoperasian suatu PLTA sepanjang tahun.

Pada PLTA Besai ini direncanakan mampu dioperasikan untuk memenuhi beban puncak, sehingga debit dasar pembangkitannya adalah debit andalan maximum.

Perhitungan debit andalan maximum adalah sebagai berikut :

$$Q_p = \frac{Q_a}{LF}$$

dimana :

Q_p = Debit andalan maximum = debit pembangkitan

Q_a = Debit andalan

LF = Load faktor

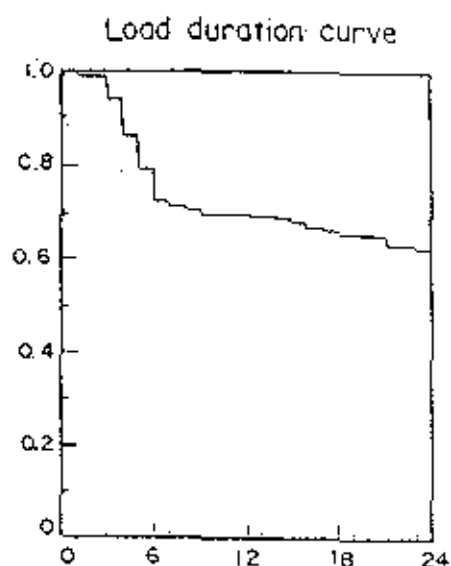
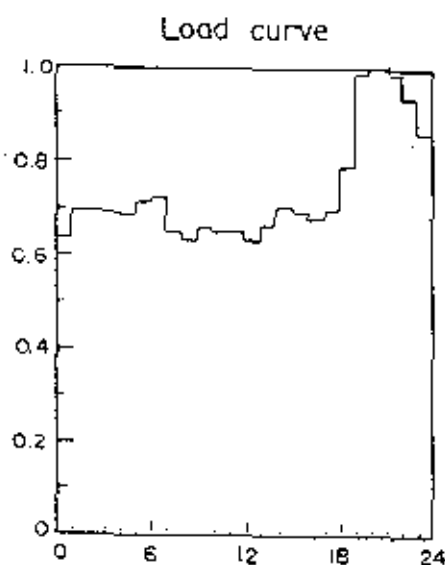
= perbandingan antara beban rata-rata dan beban maximum dalam waktu tertentu

Palembang

Peak load : 38.5 MW

Load factor : 74.0 %

Date : Mar. 17, 1983

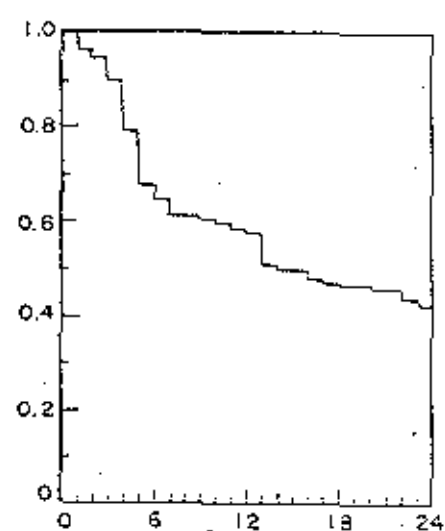
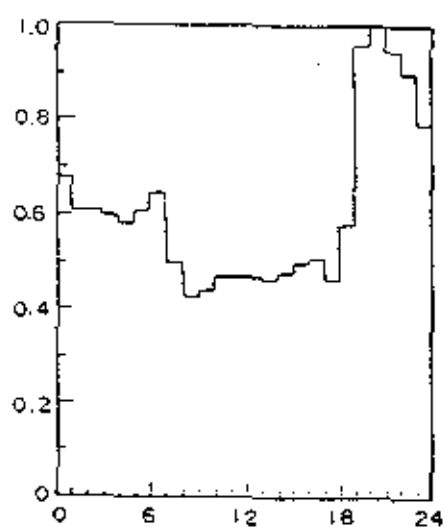


Tanjung karang

Peak load : 14.7 MW

Load factor : 61.4 %

Date : Mar. 17, 1983

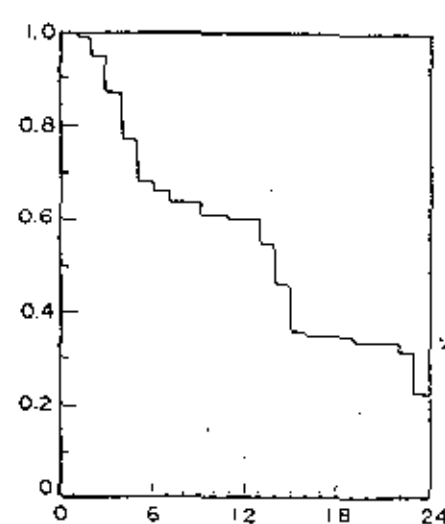
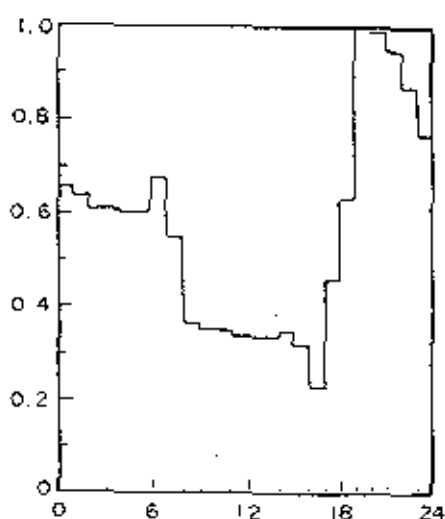


Bengkulu

Peak load : 5.08 MW

Load factor : 56.8 %

Date : May. 17, 1983



GAMBAR 4.1.

KURVA BEBAN

sumber gambar : Dinas Survey PLN

Untuk PLTA Besai, pemilihan karakteristik beban tergantung pada data waktu-waktu sebelumnya. Dari gambar 4.1, PLTA Besai direncanakan untuk mendukung beban puncak selama 5 jam dan harga load faktor = 0,6.

Sehingga debit dasar pembangkitan = $10,2 / 0,6 = 17 \text{ m}^3/\text{dt}$.

4.2. LENGKUNG KAPASITAS DAN LUAS DAERAH GENANGAN

Lengkung kapasitas dan lengkung genangan waduk merupakan bagian yang penting dalam perencanaan suatu waduk. Lengkung ini merupakan grafik hubungan antara elevasi daerah genangan dengan volume daerah genangan pada elevasi tersebut. Sebagai elevasi dasar diambil dasar sungai (riverbed) di tempat rencana as dam.

Lengkung luas - elevasi diperoleh dengan cara mengukur luas yang diapit oleh tiap-tiap garis kontour didalam kedudukan waduk tersebut dengan planimeter. Dari lengkung luas - elevasi tersebut dapat diperoleh lengkung kapasitas tampungan yang dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$V_n = \sum_{i=1}^n \frac{(h_n - h_{n-1}) (A_n + A_{n-1})}{2}$$

dimana :

V_n = Volume tampungan pada elevasi n

h_n = Tinggi genangan pada elevasi n

h_{n-1} = Tinggi genangan pada elevasi n-1

A_n = Luas daerah genangan pada elevasi n

A_{n-1} = Luas daerah genangan pada elevasi $n-1$

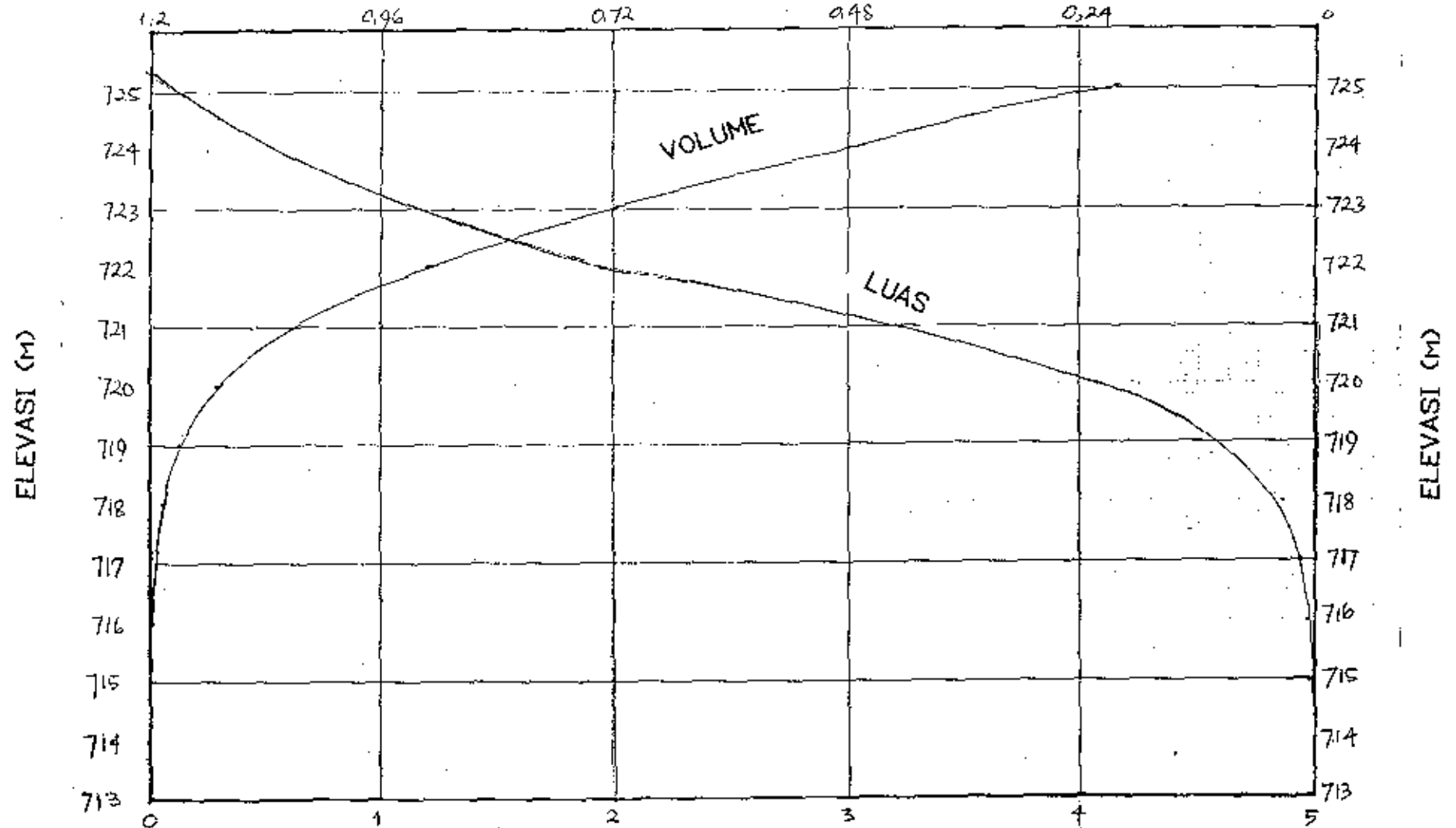
Hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 4.1.

TABEL 4.1. Hubungan antara luas dan isi tampungan
dengan elevasi (data dari dinas survey PLN)

ELEVASI (m)	AREA (km ²)	VOLUME (10 ⁶ m ³)
713	0,001	0,000
714	0,001	0,001
715	0,008	0,006
716	0,010	0,015
717	0,015	0,028
718	0,037	0,054
719	0,107	0,126
720	0,224	0,291
721	0,431	0,619
722	0,731	1,200
723	0,890	2,010
724	1,075	2,992
725	1,231	4,145

Kemudian dari data tersebut dibuat grafik seperti ditunjukkan pada gambar 4.2.

LUAS GENANGAN (KM^2)



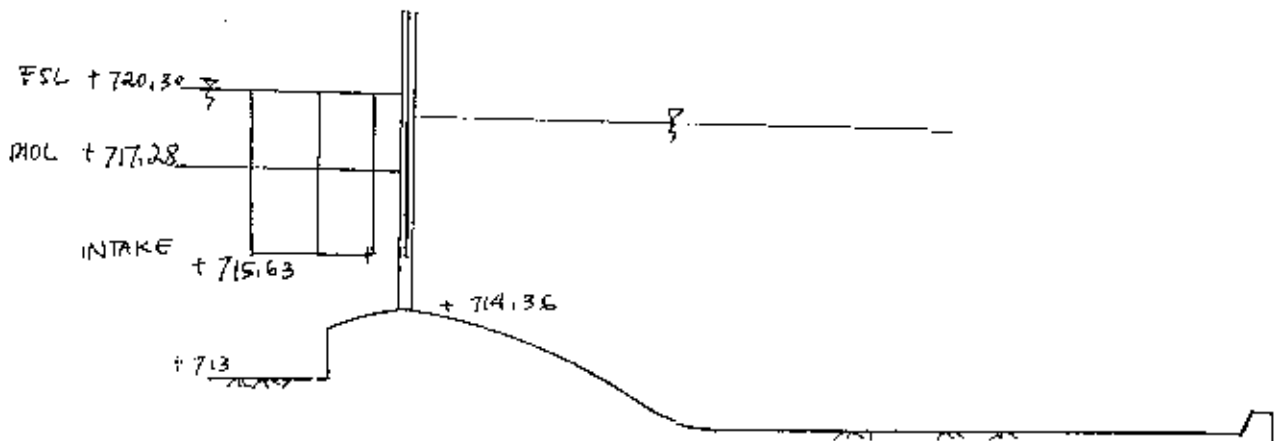
VOLUME GENANGAN (10^6 m^3)

GAMBAR 4.2 GRAFIK LENGKUNG KAPASITAS DAN LUAS

4.3. PENENTUAN TINGGI MUKA AIR OPERASI

4.3.1. INTAKE DAM

Tinggi ambang untuk tipe run of river direncanakan setinggi elevasi sedimen yaitu + 714,36. Jadi tinggi ambang pada PLTA Besai ini adalah $714,36 - 713 = 1,36$ m



Elevasi muka air operasi minimum adalah suatu tinggi muka air di waduk yang dianggap sebagai batas minimum keterbatasan air untuk pengoperasian sistem pembangkit listrik. Elevasi muka air minimum ini ditentukan dengan persamaan :

$$MOL = RL + P + (Q/2)^{0,5}$$

dimana :

MOL = Elevasi muka air operasi minimum

RL = Elevasi riverbed

P = Tinggi ambang

Q = Debit pembangkitan

sehingga elevasi muka air minimum operasi (MOL) :

$$\begin{aligned}\text{MOL} &= 713 + 1,36 + (17/2)^{0,5} \\ &= + 717,28 \text{ m}\end{aligned}$$

Elevasi muka air operasi tertinggi ditentukan dari elevasi muka air minimum ditambah dengan volume tampungan harian. Apabila bendung akan digunakan untuk mendukung beban puncak, maka :

$$\text{Besar kapasitas tampungan} = (Q_p - Q_a) \cdot H_p \cdot 3600$$

dimana :

Q_p = Debit pembangkitan

Q_a = Debit andalan

H_p = Waktu puncak

$$= 24 \times LF = 24 \times 0,6 = 14,4 \text{ jam}$$

Sehingga :

$$\begin{aligned}\text{Besar kapasitas tampungan} &= (17 - 10,2) \cdot 14,4 \cdot 3600 \\ &= 352.512 \text{ m}^3 \\ &= 0,353 \cdot 10^6 \text{ m}^3\end{aligned}$$

Maka :

$$\text{Volume FSL} = \text{Volume MOL} + \text{vol. tampungan}$$

dimana :

$$\text{Volume MOL pada elevasi} + 717,28 = 0,035 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

$$\begin{aligned}\text{sehingga volume FSL} &= 0,035 \cdot 10^6 + 0,353 \cdot 10^6 \\ &= 0,388 \cdot 10^6 \text{ m}^3\end{aligned}$$

Dengan menggunakan lengkung kapasitas waduk (gambar 4.2) diperoleh elevasi muka air operasi tertinggi (FSL) = + 720,30 m

PERHITUNGAN DIMENSI PINTU DENGAN MENGGUNAKAN RUMUS DARI BUKU
DESIGN CRITERIA AND COST ESTIMATE FOR 3rd SCREENING EVALUATION.

$$GH = FSL - (RL + P)$$

$$GW = 1,5 \times GH$$

$$N = (RW/GW + 1)$$

dimana :

GH = Tinggi pintu (m)

FSL = Elevasi muka air operasi maximum

RL = Elevasi dasar sungai

P = Tinggi ambang bendung (m)

GW = Lebar pintu (m)

N = Jumlah pintu

RW = Lebar sungai (m)

maka :

$$GH = 720,30 - (713 + 1,36) = 5,94 \text{ m} \approx 6 \text{ m}$$

$$GW = 1,5 \times 6 = 9 \text{ m}$$

$$N = (25/9 + 1) = 4$$

STILLING BASIN

Untuk menjaga scouring didasar sungai pada waktu banjir, maka pada bagian down stream bendung diberi perlindungan dari apron beton. Untuk menentukan panjang perlindungan dasar sungai digunakan perhitungan panjang loncatan hidrolis sebagai peredam energi sebagai berikut :

$$LB = 4,5 H_2$$

$$H_2 = H_1 \times ((1 + 8 F_1^2)^{1/2} - 1)/2$$

$$H_1 = \frac{q}{(2 g (w + H - H_1 - HF))^{1/2}}$$

$$HF = 0,02 \times w (w/H + 1)$$

dimana :

LB = Panjang stilling basin (m)

H₁ = Tinggi air sebelum loncatan (m)

H₂ = Tinggi air setelah loncatan (m)

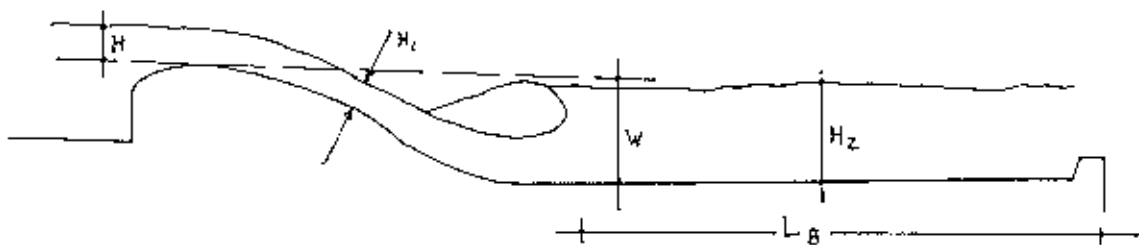
q = Debit per unit panjang = Q/L

w = Tinggi jatuh (selisih elevasi crest mercu dengan elevasi stilling basin)

H = Tinggi air diatas mercu (m)

HF = Kehilangan tinggi (m)

F₁ = Bilangan Froud = $V_1/(g \times H_1)^{1/2}$



maka :

$$HF = 0,02 \times 2 (2/5,57 + 1) = 0,05 \text{ m}$$

$$H_1 = \frac{22,3}{(2 \times 9,8 \times (2 + 5,57 - H_1 - 0,05))^{1/2}} = 2,18 \text{ m}$$

$$F_1 = (1004,07/45 \times 2,18)/(9,8 \times 2,18)^{1/2} = 2,2$$

$$H_2 = 2,18 \times ((1 + 8 \times 2,2^2)^{1/2} - 1)/2 = 5,8 \text{ m}$$

$$LB = 4,5 \times 5,8 = 26 \text{ m}$$

dengan angka keamanan 1,25 maka panjang apron = $26 \times 1,25$
 $= 32,5 \text{ m}$

CHEK TERHADAP EROSI BAWAH TANAH (PIPING)

Teori Lane

$$L = \Sigma L_v + 1/3 \Sigma L_h > C_1 \times H$$

dimana :

ΣL_v = Jumlah panjang vertikal (m)

ΣL_h = Jumlah panjang horisontal (m)

C_1 = Koefisien lane (untuk pasir halus $C_1 = 7$)

H = Beda tinggi muka air max down stream dan up stream bendung (m)

maka :

$$\left. \begin{array}{l} L = 21 + 1/3 \times 54,50 = 39,20 \text{ m} \\ C_1 \times H = 7 \times 2 = 14 \text{ m} \end{array} \right\} L > C_1 \times H$$

Teori Bligh's

$$L = \Sigma L_v + \Sigma L_h > C_b \times H$$

dimana :

ΣL_v = Jumlah panjang vertikal (m)

ΣL_h = Jumlah panjang horisontal (m)

C_b = Koefisien Bligh's (untuk pasir halus $C_b = 15$)

H = Beda tinggi muka air maximum down stream dan up stream bendung (m)

maka :

$$\left. \begin{array}{l} L = 21 + 54,50 = 75,50 \text{ m} \\ C_b \times H = 15 \times 2 = 30 \text{ m} \end{array} \right\} L > C_b \times H$$

Dari kedua hasil perhitungan tersebut, maka panjang garis rembesan bendung aman terhadap piping.

PENGOPERASIAN PINTU

Pada studi ini akan disinggung sedikit masalah pengoperasian pintu, sedangkan untuk detailnya dibahas pada studi berikutnya.

Untuk mengetahui tinggi bukaan pintu pada intake dam digunakan persamaan debit dari buku K.G. Ranga Raju hal 265, yaitu :

$$q = C_d \cdot a \sqrt{2 g \Delta H}$$

dimana :

q = Debit persatuan lebar ($m^3/dt/m'$)

C_d = Koefisien debit

a = Tinggi bukaan pintu

g = Gaya gravitasi (m/dt)

$\Delta H = (H_1 - H_2)$

H_1 = Kedalaman air di hilir

H_2 = Kedalaman air di hulu

Pada pengoperasian pintu ini, tidak semua pintu di buka kecuali dalam keadaan banjir. Sebagai contoh :

- Untuk debit minimum pada sungai Besai = $18,6 m^3/dt$, maka hanya 1 pintu yang dibuka sedang yang lainnya ditutup.

Tinggi bukaan pintu di hitung dengan cara sebagai berikut :

$$Q = 18,6 m^3/dt \longrightarrow h = 1,25 m$$

$$H_1 = 720,30 - 713 = 7,3 m$$

$$\Delta H = 7,3 - 1,25 = 6,05$$

$$Q = C_d \cdot a \cdot \sqrt{2 \cdot 9,8 \cdot 6,05} \cdot L$$

$$Q = 10,89 C_d \cdot a \cdot L$$

mencari harga C_d dengan cara coba-coba, $a = 0,32 m$

$a/H_1 = 0,32/7,3 = 0,05$ dengan melihat grafik 4.3. didapat harga $C_d = 0,59$, maka

$$\begin{aligned} Q &= 10,89 \cdot 0,59 \cdot 0,32 \cdot 9 \\ &= 18,5 m^3/dt \end{aligned}$$

Jadi untuk debit minimum ($18,6 \text{ m}^3/\text{dt}$), pintu dibuka 1 buah setinggi $0,32 \text{ m}$.

- Untuk debit rata-rata $= 24,3 \text{ m}^3/\text{dt}$, hanya 2 pintu yang dibuka sedang yang lain ditutup.

Tinggi bukaan pintu :

$$Q = 24,3 \text{ m}^3/\text{dt} \longrightarrow h = 1,50 \text{ m}$$

$$\Delta H = 7,3 - 1,5 = 5,8 \text{ m}$$

$$Q = C_d \cdot a \sqrt{2 \cdot 9,8 \cdot 5,8} \cdot L$$

$$Q = 10,66 C_d \cdot a \cdot L$$

dengan coba-coba $a = 0,22 \text{ m}$

$a/H_1 = 0,22/7,3 = 0,03$ dari grafik 4.3 didapat $C_d = 0,58$, maka :

$$\begin{aligned} Q &= 10,66 \cdot 0,58 \cdot 0,22 \cdot 18 \\ &= 24,48 \text{ m}^3/\text{dt} \end{aligned}$$

Jadi untuk debit rata-rata ($24,3 \text{ m}^3/\text{dt}$), pintu dibuka 2 buah setinggi $0,22 \text{ m}$.

- Untuk debit maximum $= 34,8 \text{ m}^3/\text{dt}$, hanya 2 pintu yang dibuka sedangkan yang lainnya ditutup.

Tinggi bukaan pintu :

$$Q = 34,8 \text{ m}^3/\text{dt} \longrightarrow h = 1,91 \text{ m}$$

$$\Delta H = 7,3 - 1,91 = 5,39$$

$$Q = C_d \cdot a \cdot \sqrt{2 \cdot 9,8 \cdot 5,39} \cdot L$$

$$Q = 10,28 C_d \cdot a \cdot L$$

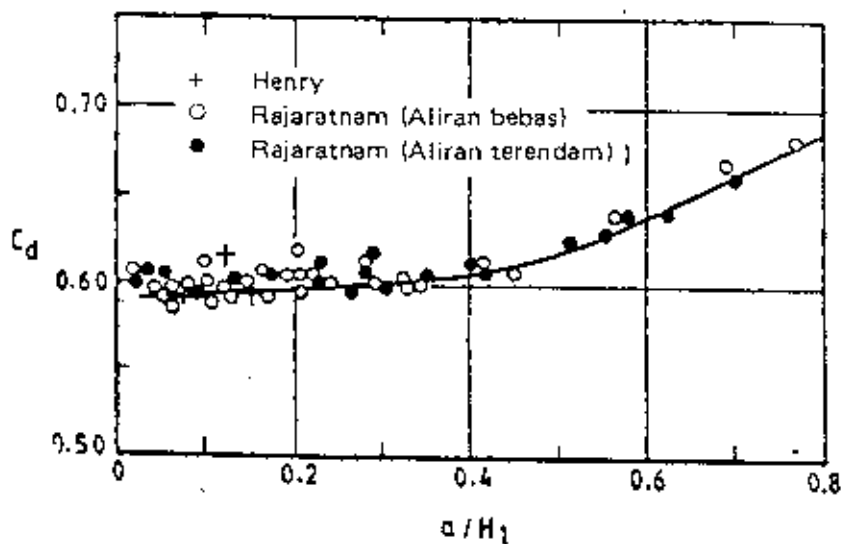
dengan coba-coba $a = 0,32 \text{ m}$

$a/H_1 = 0,32/7,3 = 0,04$ dari grafik 4.3. didapat $C_d = 0,59$,
maka :

$$Q = 10,28 \cdot 0,59 \cdot 0,32 \cdot 18$$

$$= 34,94 \text{ m}^3/\text{dt}$$

Jadi untuk debit rata-rata ($34,8 \text{ m}^3/\text{dt}$), pintu dibuka 2
buah setinggi $0,32 \text{ m}$.



GAMBAR 4.3. GRAFIK KOEFISIEN DEBIT DARI
PINTU PENGURAS



- Untuk debit banjir dengan periode ulang 100 tahun ($Q = 1004,07 \text{ m}^3/\text{dt}$), maka pintu dibuka semua.

Untuk memperkirakan tinggi muka air diatas ambang dilakukan perhitungan flood routing.

Sebelum menghitung routing, dihitung dulu outflow (rating curve) pelimpah dengan persamaan :

$$Q = C L H^{3/2}$$

dimana :

Q = Debit outflow

C = Koefisien pelimpah yang tergantung dari P/h_o dan kemiringan depan ambang (gambar 4.4)

dimana $P = 1,36$ dan kemiringan depan vertikal.

L = Panjang pelimpah (36 m)

H = Tinggi reservoir diatas mercu ($=h_o$)

Perhitungan rating curve pelimpah disajikan pada tabel 4.2.

Kemudian dasar perhitungan dari flood routing menggunakan buku Engineering Hydrology hal 237 sebagai berikut :

$$\left\{ \frac{I_1 + I_2}{2} \right\} + \left\{ S_1 - \frac{Q_1 \Delta t}{2} \right\} = \left\{ S_2 + \frac{Q_2 \Delta t}{2} \right\} \quad (\text{pers. 4-1})$$

dimana :

I = Inflow

Q = Outflow

S = Storage

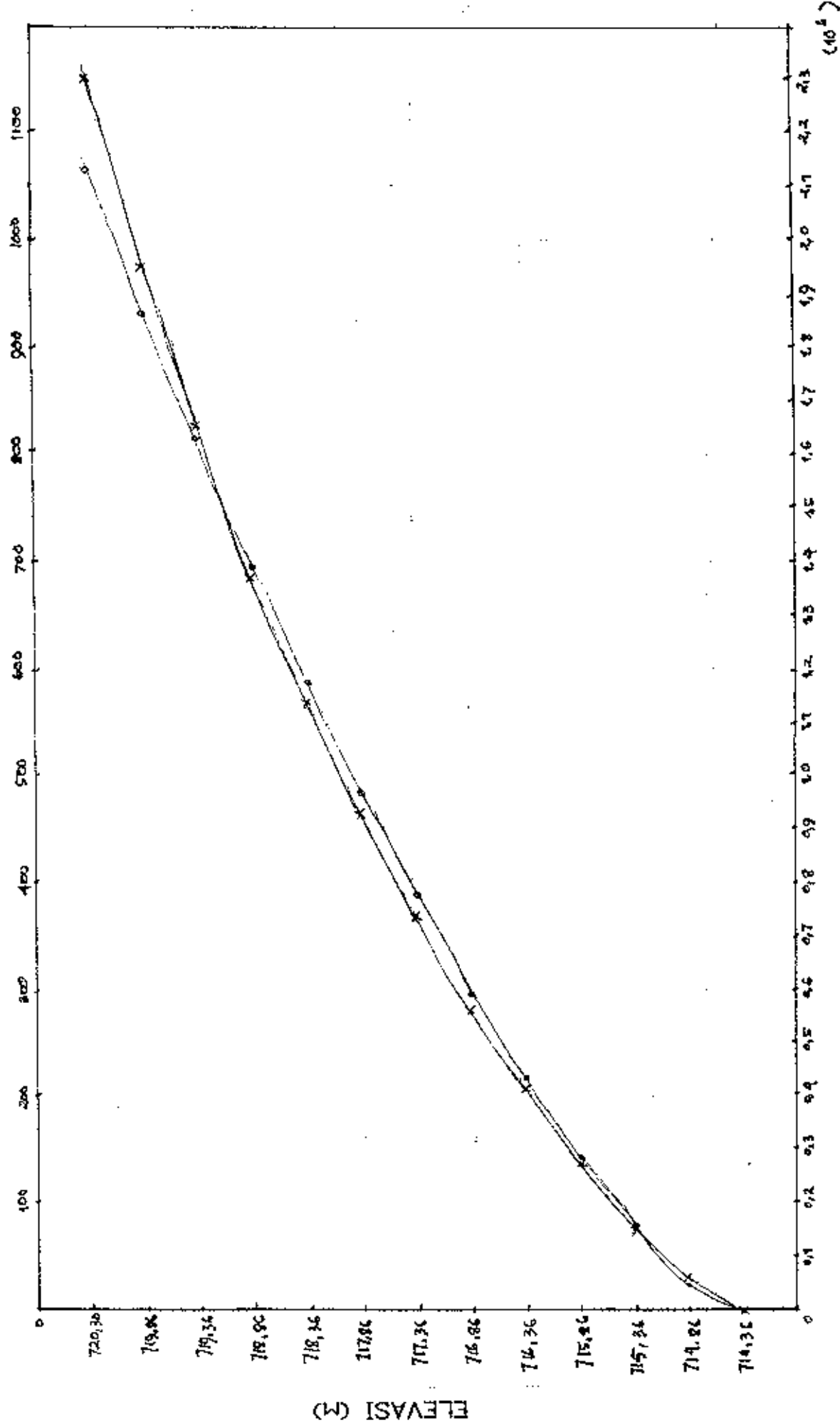
Δt = Interval waktu

Untuk perhitungan praktis bisa dilakukan dengan cara semi grafis sebagai berikut :

1. Dari grafik lengkung kapasitas (gambar 4.2) dan perhitungan rating curve (tabel 4.2) dihitung harga $\left[S + \frac{Q \Delta t}{2} \right]$ dan digambarkan grafiknya terhadap elevasi (gambar 4.5).
2. Pada gambar yang sama dilukiskan kurva debit outflow terhadap elevasi $Q = Q(h)$.
3. Harga-harga storage (S), elevasi (h), dan outflow (Q) pada awal routing telah diketahui. Untuk waktu awal Δt harga $\left[\frac{I_1 + I_2}{2} \right] \Delta t$ dan harga $\left[S_1 - \frac{Q_1 \Delta t}{2} \right]$ diketahui dan dengan persamaan 4-1 harga $\left[S_2 + \frac{Q_2 \Delta t}{2} \right]$ bisa diselesaikan.
4. Elevasi muka air yang berhubungan dengan $\left[S_2 + \frac{Q_2 \Delta t}{2} \right]$ dapat ditentukan dari gambar grafik perhitungan langkah pertama (1) diatas. Outflow Q_2 pada akhir Δt dapat ditemukan dari grafik perhitungan langkah kedua (2).
5. Dengan mengurangkan $Q_2 \Delta t$ dari $\left[S_2 + \frac{Q_2 \Delta t}{2} \right]$ akan memberikan harga $\left[S - \frac{Q \Delta t}{2} \right]_1$ untuk harga awal pada tahap waktu Δt berikutnya.
6. Prosedur diulangi dengan penambahan tahap waktu Δt sampai seluruh inflow hydrograph.

Hasil perhitungan selengkapnya disajikan dalam tabel 4.3.

DEBIT (M^3/DT)



$S + (Q/2 * T) (10^6 M^3)$

• (DEBIT) x ($S + (Q/2 * T)$)

TABEL 4.3 : PERHITUNGAN FLOOD ROUTING

WAKTU (jam)	INFLOW (m ³ /dt)	INFLOW2 (m ³ /dt)	$I \times t$ (10 ⁶ m ³)	$S-(Q/2 \times t)$ (10 ⁶ m ³)	$S+(Q/2 \times t)$ (10 ⁶ m ³)	ELEVASI	OUTFLOW (m ³ /dt)
1	37,46					714,91	37,46
2	231,91	134,69	0,46	-0,0617	0,4231	716,36	218,18
3	641,21	436,56	1,57	-0,3623	1,2093	718,38	622,73
4	565,53	803,37	2,89	-1,0325	1,8596	719,42	860,00
5	1.004,07	984,60	3,55	-1,2364	2,3089	719,93	1.002,00
6	872,86	938,47	3,30	-1,2983	2,0802	719,45	900,00
7	709,53	791,22	2,85	-1,1598	1,6886	718,91	760,00
8	567,07	639,35	2,30	-1,0474	1,2541	717,94	575,00
9	461,38	515,23	1,85	-0,8159	1,0389	717,41	460,00
10	383,02	422,20	1,52	-0,6171	0,9029	717,36	400,00
11	324,93	353,98	1,27	-0,5371	0,7372	716,86	310,00
12	278,55	301,74	1,09	-0,3788	0,7074	716,46	300,00
13	239,62	259,09	0,93	-0,3726	0,5601	715,96	230,00
14	206,30	222,96	0,80	-0,2679	0,5348	715,95	200,00
15	177,60	191,95	0,69	-0,1852	0,5058	715,93	180,00
16	152,84	165,27	0,59	-0,1422	0,4528	715,88	150,00
17	132,61	142,78	0,51	-0,0872	0,4268	715,86	140,00
18	116,47	124,54	0,45	-0,0772	0,3711	715,42	110,00
19	103,28	109,88	0,40	-0,0249	0,3707	715,40	105,00
20	92,10	97,69	0,35	-0,0073	0,3444	715,39	96,00
21	65,76	73,93	0,27	-0,0012	0,2649	714,93	56,00
22	25,72	40,74	0,15	0,0633	0,2100	714,46	20,00
23	7,20	16,46	0,06	0,1390	0,1972	714,39	10,00

Dengan debit banjir 100 tahun (Q₁₀₀) sebesar 1004,07 m³/dt
tinggi air diatas ambang 5,57 m

Untuk debit banjir 100 tahun (Q₁₀₀) = 1004,07 m³/dt

Tinggi air diatas ambang = El. muka air - El. ambang

$$= 719,93 - 714,36$$

$$= 5,57 \text{ m}$$

4.3.2. INTAKE

Intake adalah bangunan untuk memasukkan debit air, yang kemudian dialirkan ke waterway. Ada 2 macam type intake, yaitu :

1. Intake dengan type tekanan (pressure type) yang dibangun terpisah dam atau menjadi satu dengan dam.
2. Intake dengan type tanpa tekanan (non pressure) yang dibangun terpisah dengan dam, biasanya dipakai pada bentuk penyesuaian langsung (run of river) dan beberapa bentuk dam dimana perubahan tinggi air di dam tidak besar.

Untuk PLTA Besai dipilih bentuk intake dengan type tanpa tekanan. Sedang elevasi intake ditetapkan pada elevasi sedimen ditambah $1/3$ diameter intake.

Diameter lubang intake dihitung dengan rumus :

$$Q = A \times V$$

$$1/4 \pi D^2 = \frac{Q}{V}$$

dengan mengambil kecepatan di intake sebesar 1,5 m/dt dan debit pembangkitan 17 m³/dt, maka :

$$D^2 = \frac{4 \cdot 17,0}{\pi \cdot 1,5}$$

$$D = 3,80 \text{ m}$$

Jadi diameter intake adalah 3,8 m, dan elevasi pada intake adalah $714,36 + 1/3 \times 3,8 = 715,63 \text{ m}$.

4.4. PERHITUNGAN DIMENSI WATERWAY

4.4.1. HEAD RACE

Head race adalah bagian dari waterway yang terletak diantara intake dan surge tank. Ada 3 macam type head race, yaitu :

1. Head race terowongan dengan tekanan (head race tunnel pressure type).

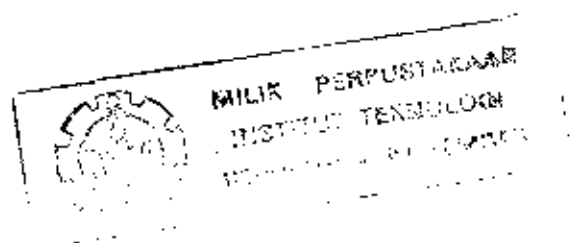
Type ini umumnya digunakan untuk semua type PLTA dengan reservoar dan kadang-kadang digunakan juga untuk beberapa type PLTA aliran langsung.

2. Head race terowongan tanpa tekanan (head race tunnel non pressure type).

Type ini diperuntukkan bagi PLTA aliran langsung, dan menggunakan terowongan (tunnel) pada kondisi geologi yang baik.

3. Head race pada galian saluran terbuka (head race channel excavated open channel).

Type ini umumnya digunakan untuk PLTA aliran langsung yang topografinya sepanjang waterway merupakan dataran dan penggunaan tunnel kurang menguntungkan.



Berdasarkan rencana lokasi dam PLTA Besai, kondisi topografi head race akan diletakkan merupakan daerah perbukitan. Dari pertimbangan tersebut, head race yang dipilih adalah type tunnel/terowongan yang menembus bukit sampai pada tempat surge tank. Panjang head race tunnel diperkirakan dari potongan memanjang, yaitu 5000 m atau 5 km. Mengingat letaknya didalam tanah, head race tunnel ini akan sulit dikontrol dan mendapat pengaruh dari tanah sekitarnya. Untuk itu dipilih head race tunnel dari bahan beton bertulang.

Untuk menentukan diameter head race tunnel yang diperkirakan dengan menggunakan rumus dari buku " *Design Criteria and Cost Estimate for 3Rd Screening Evaluation* ", yaitu :

$$D_{tr} = 1,05 \times Q^{0,372}$$

dimana :

D_{tr} = Diameter dalam head race tunnel (m)

Q = Debit pembangkitan (m^3/dt)

$$\begin{aligned} \text{Untuk PLTA Besai, } D_{tr} &= 1,05 \times 17,0^{0,372} \\ &= 3,00 \text{ m} \end{aligned}$$

Jadi diameter head race tunnel adalah 3,0 m

Kemudian dihitung kecepatan air yang lewat head race tunnel :

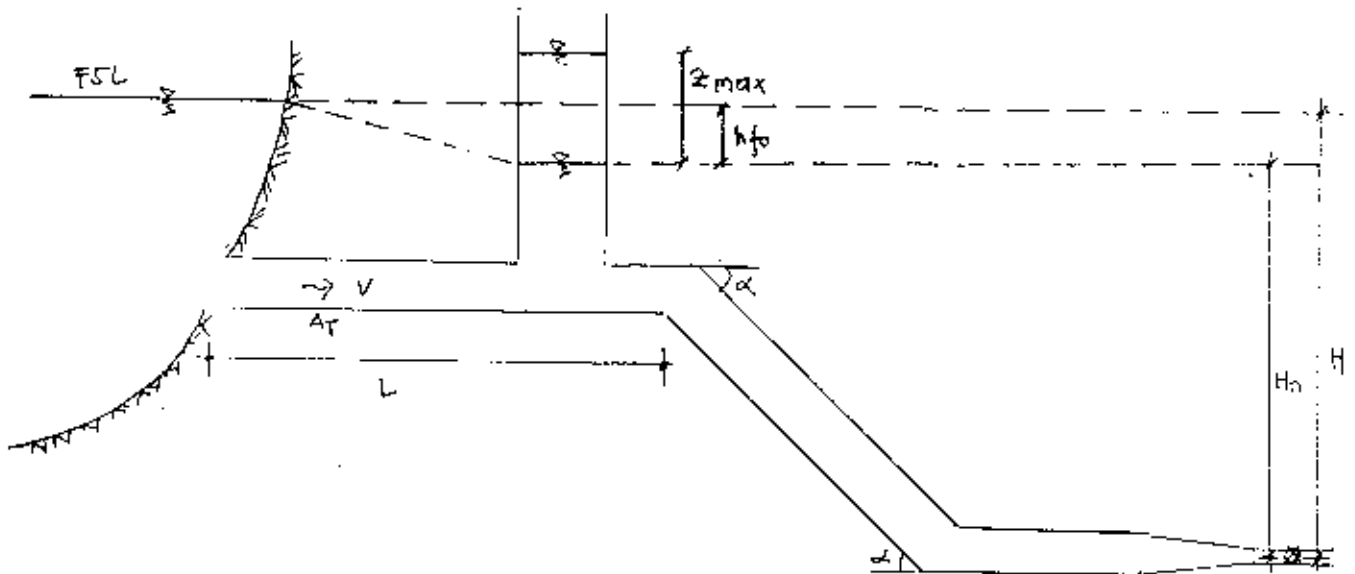
$$\begin{aligned} V &= \frac{Q}{A} = \frac{Q}{1/4 \pi D^2} \\ &= \frac{17,0}{1/4 \pi (3,0)^2} = 2,40 \text{ m/dt} \end{aligned}$$

H = Tinggi jatuh kotor

$$= \text{FSL} - \text{IWL} = + 720,30 - 466,9 = 253,40 \text{ m}$$

V_0 = Kecepatan aliran pada head race tunnel (2,40 m/dt)

h_{fo} = Kehilangan tinggi pada pemasukan sampai ke surge tank



KEHILANGAN TINGGI DARI INTAKE SAMPAI SURGE TANK

A. KEHILANGAN PADA TRASH RACK

$$h_1 = f_1 \frac{v^2}{2g}$$

dimana :

f_1 = Koefisien kehilangan tinggi

$$= \phi (s/b)^{4/3} \sin \beta$$

$\phi = 1,73$ untuk bentuk penampang batang bulat

β = Sudut kemiringan trash rack (60°)

s = Tebal batang (1,2 cm)

b = Jarak antara batang (7,5 cm)

$$f_1 = 1,73 (1,2/7,5)^{4/3} \sin 60^\circ$$

$$= 0,13$$

$$h_1 = 0,13 \frac{1,5^2}{2 \cdot 9,8}$$

$$= 0,015 \text{ m}$$

B. KEHILANGAN TINGGI PADA PEMASUKAN INTAKE

$$h_2 = f_2 \frac{v^2}{2g}$$

dimana :

f_2 = Koefisien bentuk pemasukan

= 0,10 untuk bentuk lingkaran

v = Kecepatan pada intake

$$h_2 = 0,10 \frac{1,5^2}{2 \cdot 9,8} = 0,011 \text{ m}$$

C. KEHILANGAN TINGGI PADA PEMASUKAN HEAD RACE

$$h_g = f_g \frac{V^2}{2g}$$

dimana :

f_g = Koefisien yang tergantung bentuk pemasukan

= 0,1 untuk bentuk lingkaran

V = Kecepatan rata-rata pada head race tunnel

$$h_g = 0,10 \frac{2,40^2}{2 \cdot 9,8}$$

$$= 0,03 \text{ m}$$

E. KEHILANGAN TINGGI AKIBAT GESERAN PADA PIPA

$$h_s = f_s \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$$

dimana :

$$f_s = \text{Koefisien geseran} = \frac{124,5 \cdot n^2}{D^{1/3}}$$

n = angka kekasaran manning (0,014)

D = diameter pipa head race

$$f_s = \frac{124,5 \cdot 0,014^2}{(3,0)^{1/3}} = 0,018$$

V = Kecepatan pada head race

L = Panjang pipa head race

$$h_s = 0,018 \frac{5000}{3,0} \frac{2,40^2}{2 \cdot 9,8}$$

$$= 8,816 \text{ m}$$

Jadi total kehilangan tinggi (energi) dari pemasukan sampai surge tank adalah $h_{fo} = h_1 + h_2 + h_3 + h_4$

$$= 0,015 + 0,011 + 0,030 + 8,816$$

$$= 8,872 \text{ m}$$

Sehingga :

$$A_s = \frac{2,40^2}{2 \cdot 9,8} - \frac{5000 \cdot 7,07}{8,872 (253,40 - 8,872)}$$

$$= 4,79 \text{ m}^2$$

$$4,79 = 1/4 \pi D^2$$

$$D^2 = \frac{4 \cdot 4,79}{\pi}$$

$$D_{min} = 2,47 \text{ m}$$

Persyaratan diameter surge tank adalah antara D_{min} sampai $4.D_{rr}$ (2,5 m sampai 12 m). Diambil diameter surge tank = 8 m

Untuk menentukan kenaikan muka air akibat water hammer digunakan perumusan sebagai berikut :

$$Z_{max} = V_0 \sqrt{\frac{L \cdot A_r}{g \cdot A_s}}$$

dimana :

Z_{max} = Kenaikan muka air pada surge tank

V_0 = Kecepatan air pada head race tunnel

L = Panjang head race tunnel

A_r = Luas penampang pipa head race tunnel

A_s = Luas penampang surge tank

$$= 1/4 \pi D^2 = 1/4 \pi (8)^2 = 50,27 \text{ m}^2$$

$$Z_{\max} = 2,40 \cdot \sqrt{\frac{5000 \cdot 7,07}{9,8 \cdot 50,27}}$$

$$= 20,33 \text{ m}$$

4.4.3. PENSTOCK

Penstock adalah pipa tekan yang menghubungkan turbin dengan surge tank. Apabila turbin lebih dari satu, disarankan pula penstock sesuai dengan banyaknya turbin atau penstock digunakan untuk lebih dari satu turbin yang bercabang di dekat power plant.

Penstock terletak disepanjang tempat yang terpendek antara surge tank dan turbin, yang tergantung dari kondisi topografi, geologi yang baik dan longsor tidak mungkin terjadi. Penstock pada umumnya terdiri dari pipa baja, beton atau kombinasi keduanya. Ada 3 macam penstock, yaitu :

1. Terowongan tekan miring dengan pipa pesat baja didalamnya
2. Pipa pesat diluar dari bahan baja atau beton
3. Pipa pesat beton bertulang

Mengingat kondisi topografi PLTA Besai, maka pipa pesat dipilih tipe terowongan tekan miring ($\alpha = 45^\circ$), dengan pipa pesat baja didalamnya. Panjang penstock diperkirakan $L = 842,10 \text{ m}$

terdiri dari bagian atas horisontal sepanjang 20,00 m dari surge tank, bagian yang miring sepanjang 292,18 m dan bagian bawah horisontal kearah turbin sepanjang 530,00 m.

Diameter penstock dihitung berdasarkan rumus dari buku " *Design Criteria and Cost Estimate for 3RD Screening Evaluation* ", yaitu :

$$D_{IAP} = 0,733 \times Q_P^{0,396} \quad , \text{ untuk } H_o > 200 \text{ m}$$

dimana :

D_{IAP} = Diameter dalam penstock (m)

Q_P = Debit pembangkitan (m^3/dt)

H_o = Tinggi jatuh efektif (m)

untuk PLTA Besai :

$$\begin{aligned} D_{IAP} &= 0,733 \times (17,0)^{0,396} \\ &= 2,25 \text{ m} \end{aligned}$$

Jadi diameter penstock = 2,25 m, untuk bagian bawah mendekati nozzle diameter penstock bervariasi dari 2,25 sampai 1,3 m.

Kecepatan air pada pipa pesat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} v &= \frac{Q_P}{A} = \frac{17,0}{1/4 \pi (2,25)^2} \\ &= 4,28 \text{ m/dt} \end{aligned}$$

KEHILANGAN TINGGI SURGE TANK SAMPAI OUTLET

A. KEHILANGAN TINGGI PADA PEMASUKAN PIPA PESAT

$$h_1 = f_1 \frac{v^2}{2g}$$

dimana :

f_1 = Koefisien kehilangan tinggi yang tergantung
bentuk pemasukan

= 0,1 untuk bentuk lingkaran

v = kecepatan rata-rata pada pipa pesat

$$h_1 = 0,1 \frac{4,28^2}{2 \cdot 9,8}$$

$$= 0,093 \text{ m}$$

B. KEHILANGAN TINGGI AKIBAT PENYEMPITAN

$$h_2 = f_2 \frac{v^2}{2g}$$

dimana :

f_2 = Koefisien kehilangan tinggi (dari grafik)

$$A_2/A_1 = \frac{1/4 \pi (1,3)^2}{1/4 \pi (2,25^2)} = 0,334$$

$$\theta = 2 \arctan \left[\frac{D_1 - D_2}{2 L} \right]$$

L = panjang transisi (40 m)

$$\theta = 2 \arctan \left[\frac{2,25 - 1,3}{2 \cdot 40} \right] = 1^\circ 22'$$

berdasarkan gambar 4.6. dengan harga A_1/A_2 dan

θ didapat $f_z = 0,001$

V = Kecepatan pada penstock

maka :

$$h_z = 0,001 \frac{4,28^2}{2 \cdot 9,8}$$

$$= 0,001 \text{ m}$$

C. KEHILANGAN TINGGI AKIBAT BELOKAN

Dihitung berdasarkan rumus Anderson - Straub

$$h_b = f_{b1} \cdot f_{b2} \frac{V^2}{2g}$$

dimana :

$$f_{b1} = 0,131 + 0,1632 (D/r)^{7/2}$$

$$f_{b2} = (\theta/90)^{1/2}$$

θ = sudut dalam belokan

r = jari-jari lengkung belokan

D = diameter pipa pesat

V = Kecepatan pipa pesat

maka :

$$f_{b1} = 0,131 + 0,1632 (2,25/3,6)^{7/2}$$

$$= 0,162$$

$$f_{b2} = (45/90)^{1/2} = 0,707$$

$$h_b = 2 \left[0,162 \times 0,707 \times \frac{4,28^2}{2 \cdot 9,8} \right]$$

$$= 0,214 \text{ m}$$

D. KEHILANGAN TINGGI AKIBAT GESERAN

$$h_4 = f_4 \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$$

dimana :

$$f_4 = \frac{124,5 \cdot n^2}{D^{1/3}}$$

n = pipa baja (0,012)

L = Panjang pipa pesat

D = Diameter pipa pesat

V = Kecepatan pada pipa pesat

Untuk :

$$* L_1 = 802,18 \text{ m} ; D_1 = 2,25 \text{ m} ; V_1 = 4,28 \text{ m/dt}$$

$$f_4 = \frac{124,5 \cdot 0,012^2}{2,25^{1/3}} = 0,014$$

$$h_1 = 0,014 \frac{802,18}{2,25} \frac{4,28^2}{2 \cdot 9,8} = 4,66 \text{ m}$$

$$* L_2 = 40 \text{ m} ; D_2 = 1,3 \text{ m}$$

$$V_2 = \frac{Q}{1/4 \pi D^2} = \frac{17,0}{1/4 \pi (1,3)^2} = 12,8 \text{ m/dt}$$

$$f_4 = \frac{124,5 \cdot 0,012^2}{1,3^{1/3}} = 0,016$$

$$h_2 = 0,016 \frac{40}{1,3} \frac{12,8^2}{2 \cdot 9,8} = 4,12 \text{ m}$$

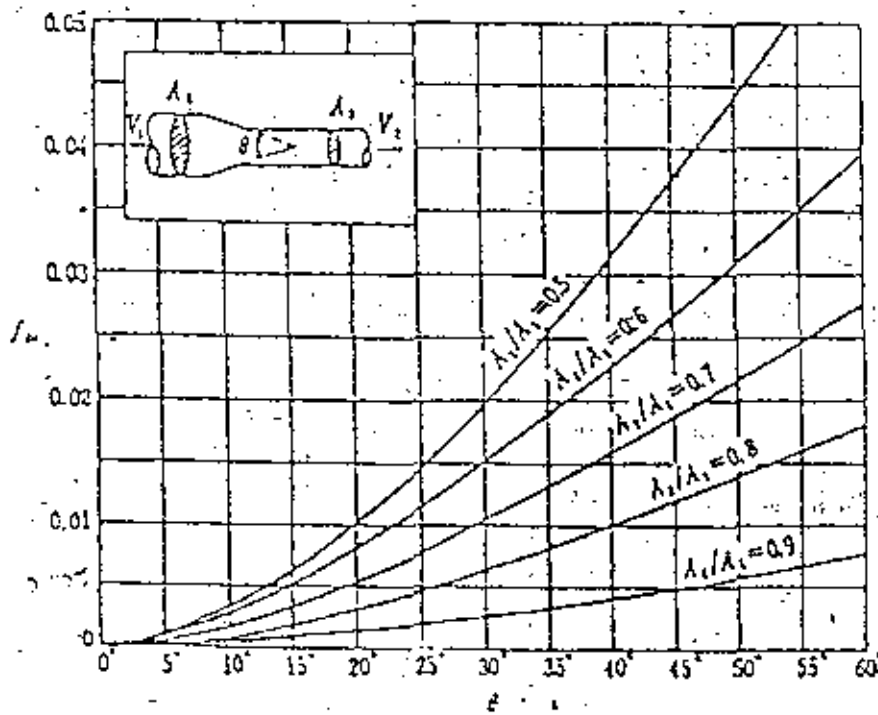
$$h_4 = h_1 + h_2 = 4,66 + 4,12 \\ = 8,78 \text{ m}$$

Jadi total kehilangan tinggi dari surge tank sampai outlet

yaitu : $h_{f1} = h_1 + h_2 + h_3 + h_4$

$$= 0,093 + 0,001 + 0,214 + 8,78$$

$$= 9,088 \text{ m}$$



GAMBAR 4.6. GRAFIK KOEFISIEN KEHILANGAN TINGGI
AKIBAT PENYEMPITAN

4.5. POWER HOUSE DAN JENIS TURBIN

Power house adalah suatu bangunan beton bertulang, yang terdiri dari bangunan upper struktur diatas muka tanah dan sub struktur yang termasuk perlengkapan pondasi dibawah tanah. Power house pada PLTA Besai dipilih tipe semi under ground, terletak dikaki bukit pada tebing sebelah kiri sungai Besai sejauh kira-kira 6 km di hilir dam site. Ukuran bangunan dan volumenya tergantung pada jumlah unit turbin yang terpasang.

Dalam penentuan jenis turbin yang akan digunakan untuk pembangkitan tenaga listrik pada studi pendahuluan ini hanya berdasarkan tinggi jatuh atau head dari turbin, sedangkan detailnya dibahas pada studi berikutnya.

KLASIFIKASI TURBIN BERDASARKAN TINGGI JATUH

KATAGORI	TINGGI JATUH	JENIS TURBIN
Low head	5 - 10 m	Propeller
Medium head	24 - 350 m	Francis/Kaplan
High head	300 - 1800 m	Pelton

PLTA Besai mempunyai tinggi jatuh brutto sekitar 253,40m, dari tabel diatas jenis turbin yang dipakai adalah tipe Francis.

4.6. PERHITUNGAN PRODUKSI DAYA DAN ENERGI

Daya yang akan dihasilkan oleh suatu pembangkit listrik tenaga air diperhitungkan dengan persamaan :

$$P = 9,8 \eta Q H$$

dimana :

P = Daya yang dihasilkan oleh pembangkit listrik (KW)

η = Efisiensi Generator dan turbin (0,80 - 0,85)

Q = Debit yang melalui turbin (m^3/dt)

H = Tinggi jatuh efektif (m)

Untuk PLTA Besai :

$$\text{tinggi jatuh efektif} = FSL - TWL - h_f$$

dimana h_f = kehilangan tinggi total pada waterway

$$= h_{f0} + h_{f1} + 10\% (h_{f0} + h_{f1})$$

$$= 8,872 + 9,088 + 10\% (8,872 + 9,088)$$

$$= 19,76 \text{ m}$$

$$\text{tinggi jatuh efektif} = 720,3 - 466,9 - 19,76$$

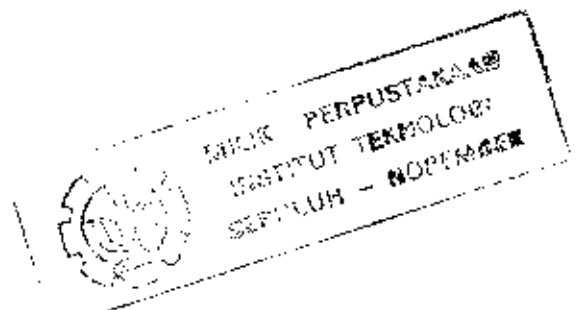
$$= 233,64 \text{ m}$$

$$\text{Efisiensi } (\eta) = 0,84$$

$$\text{Jadi : } P = 9,8 \cdot 0,84 \cdot 17,0 \cdot 233,64$$

$$= 32696,31 \text{ KW}$$

$$= 32,70 \text{ MW}$$



Produksi energi total setahun adalah :

$$E_t = E_p + \xi E_s$$

dimana :

E_t = Energi total

E_p = Energi primer/tahunan

E_s = Energi sekunder

ξ = Probabilitas keberhasilan (20 - 50%)

$$E_p = 9,8 \cdot \eta \cdot H_{net} \cdot Q_a \cdot 8760$$

$$= 9,8 \cdot 0,84 \cdot 233,64 \cdot 10,2 \cdot 8760$$

$$= 171852888,90 \text{ KWH}$$

$$= 171,85 \text{ GWH}$$

$$E_s = 9,8 \cdot \eta \cdot H_{net} \cdot (Q_p - Q_a) \cdot 8760$$

$$= 9,8 \cdot 0,84 \cdot 233,64 \cdot (17,0 - 10,2) \cdot 8760$$

$$= 114568592,60 \text{ KWH}$$

$$= 114,57 \text{ GWH}$$

$$E_t = 171,85 + 0,3 \cdot 114,57$$

$$= 206,22 \text{ GWH}$$

BAB V

ANALISA EKONOMI

5.1. UMUM

Dalam studi pendahuluan PLTA Besai ini, selain menganalisa secara teknis dan berapa besar kapasitas yang dapat dibangkitkan, perlu juga diadakan analisa ekonomi.

Dengan adanya analisa ekonomi ini dapat dilihat apakah proyek tersebut layak dibangun. Untuk mengetahuinya harus dihitung jenis-jenis pekerjaan yang tiap jenisnya mempunyai harga tersendiri.

Dalam perhitungan analisa ekonomi ini digunakan analisa benefit cost ratio (BCR) yaitu perbandingan antara besarnya keuntungan yang diharapkan dengan besar biaya yang dipakai untuk pembangunan proyek.

5.2. PERHITUNGAN BIAYA PEMBANGUNAN

Biaya pembangunan adalah merupakan biaya konstruksi yang digunakan dalam suatu pembangunan proyek pembangkit listrik tenaga air (PLTA). Biaya konstruksi pada studi pendahuluan ini, diperkirakan dengan membandingkan harga satuan dari proyek-proyek PLTA yang ada di Indonesia.

Hubungan antara biaya konstruksi pada tiap unit konstruksi dinyatakan dalam rumus-rumus regresi dari literature *Kriteria Perencanaan Proyek PLTA Tahap Pre Feasebility Study* sebagai berikut : (keterangan : semua cost dalam satuan US \$)

1. Bendung Run of River/weir.

$$CWR = 1200 \times VW^{0,95}$$

dimana :

CWR = Biaya konstruksi bendungan

VW = Volume beton (m^3) = $8900 m^3$

Sehingga $CWR = 1200 \times 8900^{0,95}$

$$= \text{US \$ } 6,78 \cdot 10^6$$

2. Intake.

$$CIP = 300 \times 10^3 \times (D \cdot Q_p/2)^{0,51}$$

dimana :

CIP = Biaya konstruksi intake

D = Diameter intake (m)

Q_p = Debit pembangkitan puncak (m^3/dt)

dengan $D = 3,8 \text{ m}$ dan $Q_p = 17 \text{ m}^3/\text{dt}$, maka :

$$\begin{aligned} \text{CIP} &= 300 \times 10^3 \times (3,8 \times 17/2)^{0,51} \\ &= \text{US \$ } 1,77 \times 10^6 \end{aligned}$$

3. Pipa Tekan (Headrace Tunnel)

$$\text{CHT} = 710 \times \text{DHT}^{1,5} \times \text{LHT} \times \text{N}$$

dimana :

CHT = Biaya konstruksi headrace

DHT = Diameter pipa (m)

LHT = Panjang pipa (m)

N = Jumlah pipa

dengan $\text{DHT} = 3 \text{ m}$, $\text{LHT} = 5000 \text{ m}$, dan $\text{N} = 1$, maka :

$$\begin{aligned} \text{CHT} &= 710 \times 3^{1,5} \times 5000 \times 1 \\ &= \text{US \$ } 18,45 \times 10^6 \end{aligned}$$

4. Tangki Pendatar (Surgetank)

$$\text{CST} = 7,2 \times 10^3 \times (Q_p \times (\text{Ha} + \text{LT})^{1/4})^{0,96} \times \text{N}$$

dimana :

CST = Biaya konstruksi surgetank

Q_p = Debit pembangkitan puncak (m^3/dt)

Ha = Kenaikan muka air pada surge tank

LT = Tinggi surgetank (m)

N = Jumlah surgetank

dengan $\text{Ha} = 20,33 \text{ m}$, $\text{LT} = 60,95 \text{ m}$ dan $\text{N} = 1$, maka :

$$\begin{aligned} \text{CST} &= 7,2 \times 10^3 \times (17 \times (20,33 + 60,95)^{1/4})^{0,96} \times 1 \\ &= \text{US \$ } 0,31 \times 10^6 \end{aligned}$$

5. Pipa Pesat (Penstock)

$$CPS = 800 \times DP^{1,66} \times LPT \times N$$

dimana :

CPS = Biaya konstruksi Penstock

DP = Diameter penstock (m)

LPT = Panjang penstock (m)

dengan DP = 2,25 m, LPT = 842,18 m dan N = 1, maka :

$$\begin{aligned} CPS &= 800 \times 2,25^{1,66} \times 842,18 \times 1 \\ &= \text{US \$ } 2,59 \times 10^6 \end{aligned}$$

6. Powerhouse

$$CHP = CHP_1 + CHP_2$$

$$CHP_1 = 3,9 \times 10^3 \times (P/HEF^{1/2})^{0,71}$$

$$CHP_2 = 6,0 \times 10^3 \times (Gr \times HEF^{2/3} \times N^{1/2})^{0,85}$$

dimana :

CHP = Biaya konstruksi powerhouse

CHP₁ = Biaya gedung power house

CHP₂ = Biaya pondasi

P = Kapasitas terpasang (KW)

HEF = Tinggi jatuh efektif

Gr = Debit pembangkitan puncak

N = Jumlah unit pembangkit

dengan $P = 32696,31$ KW, $HEF = 233,64$ m, $Q_p = 17$ m³/dt, $N = 1$, maka :

$$\begin{aligned} \text{CHP}_1 &= 3,9 \times 10^3 \times (32696,31/233,64^{0,5})^{0,71} \\ &= \text{US \$ } 0,9 \times 10^6 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{CHP}_2 &= 6,0 \times 10^3 \times (17 \times 233,64^{2/3} \times 1^{1/2})^{0,85} \\ &= \text{US \$ } 1,47 \times 10^6 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{CHP} &= 0,9 \times 10^6 + 1,47 \times 10^6 \\ &= \text{US \$ } 2,37 \times 10^6 \end{aligned}$$

7. Power Equipment (peralatan pembangkitan)

$$\text{CPE} = 5,9 \times 10^3 \times (P/\text{HEF}^{1/2})^{0,9}$$

dimana :

CPE = Biaya power equipment

P = Daya terpasang

HEF = tinggi jatuh efektif

dengan $P = 32696,31$ KW dan $HEF = 233,64$ m, maka :

$$\begin{aligned} \text{CPE} &= 5,9 \times 10^3 \times (32696,31/233,64^{1/2})^{0,9} \\ &= \text{US \$ } 5,86 \times 10^6 \end{aligned}$$

8. Transmisi

$$\text{CTR} = \text{TL} \times \text{FC} \times 13 \times 10^3$$

dimana :

CTR = Biaya transmisi

TL = Panjang jaringan transmisi

FC = Compensation koefisien Index cost 70 ke
150 KV

dengan TL = 55 km dan FC = 3,92, maka :

$$\begin{aligned}\text{CTR} &= 55 \times 3,92 \times 13 \times 10^3 \\ &= 2,8 \times 10^6\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Biaya konstruksi seluruhnya} &= \text{CWR} + \text{CIP} + \text{CHT} + \text{CST} + \text{CPS} \\ &\quad + \text{CHP} + \text{CPE} + \text{CTR} \\ &= \text{US \$ } 40,93 \times 10^6\end{aligned}$$

Biaya pembangunan :

- Biaya konstruksi	= US \$ 40,93 $\times 10^6$
- Biaya tak terduga 15%	= US \$ 6,14 $\times 10^6$
	<hr/>
	= US \$ 47,07 $\times 10^6$
- Biaya engine. & adm. 10%	= US \$ 4,71 $\times 10^6$
	<hr/>
	= US \$ 51,78 $\times 10^6$

Semua harga satuan diatas adalah harga pada tahun 1983. Untuk menemukan harga nyata pada tahun dasar yang ditentukan harus dikalikan dengan faktor eskalasi. Karena PLTA Besai direncanakan pada tahun anggaran 1991 maka dicari faktor eskalasinya dengan cara sebagai berikut :

- Dari lampiran 4 (grafik trend price index);

$$\text{harga X} = 1991 - 1971 = 20 \text{ tahun}$$

$$\text{indeks harga Y} = 28,73 + 7,79 \cdot 20 = 184,53$$

- Dari lampiran 5 (tabel harga index dan faktor eskalasi),

$$\text{besarannya faktor eskalasi} = \frac{184,53}{122} = 1,51$$

Jadi biaya total PLTA Besai pada tahun dasar 1991 adalah sebesar $51,78 \times 10^6 \times 1,51 = \text{US \$ } 78,19 \times 10^6$.

5.2.1. PERHITUNGAN ARUS BIAYA

Besarnya biaya total pembangunan telah dihitung yaitu sebesar US \$ 78,19 10^6 . Dalam pelaksanaan, total biaya pembangunan ini tidak dikeluarkan serentak akan tetapi menggunakan jadwal pengeluaran biaya pelaksanaan. Besarnya biaya pelaksanaan setiap tahun dihitung berdasarkan rencana pekerjaan yang dilaksanakan pada tahun yang bersangkutan.

Jadwal pengeluaran biaya pelaksanaan selama 5 tahun, besarnya setiap tahun dinyatakan dalam persen dari biaya total pembangunan. Pengeluaran yang diperkirakan untuk setiap tahunnya dapat dilihat pada tabel 5.1.

TABEL 5.1 : JADWAL PENGELUARAN
BIAYA PEMBANGUNAN

TAHAP	TAHUN	PROSENTASE (%)	ARUS BIAYA (US \$ 10^6)
1	1991	15	11,73
2	1992	25	19,55
3	1993	30	23,46
4	1994	20	15,64
5	1995	10	7,82
TOTAL			78,19

5.3. PERHITUNGAN KEUNTUNGAN

Dengan dibangunnya proyek PLTA Besai ini maka diharapkan memperoleh bermacam-macam keuntungan, baik keuntungan yang dapat diukur dengan uang maupun tidak. Dalam studi ini keuntungan yang dapat diukur dengan uang saja yang dihitung, yaitu keuntungan yang diperoleh dari keuntungan energi listrik.

Berdasarkan harga tarif listrik pada tahun 1984 sebesar Rp 98/kWh dengan eskalasi 8% per tahun, maka harga listrik pada tahun 1996 diperkirakan sebesar Rp 246,78/kWh.

Besar keuntungan proyek PLTA Besai per tahun adalah :

$$\begin{aligned} B &= \text{harga jual energi} \times \text{produksi energi per tahun} \\ &= 246,78 \times 206.223.466,7 \\ &= \text{Rp } 5,09 \cdot 10^{10} \end{aligned}$$

dengan perkiraan pada tahun 1996 nilai US \$ 1 = Rp 2857,- maka

$$B = \text{US } \$ 17,82 \cdot 10^6$$

Biaya O & M per tahun diperkirakan 1% dari biaya pembangunan yaitu :

$$\begin{aligned} C &= 1\% \times 78,19 \cdot 10^6 \\ &= \text{US } \$ 0,78 \cdot 10^6 \end{aligned}$$

Jadi keuntungan bersih PLTA Besai per tahun adalah :

$$\begin{aligned} A &= B - C \\ &= 17,82 \cdot 10^6 - 0,78 \cdot 10^6 \\ &= \text{US } \$ 17,04 \cdot 10^6 \end{aligned}$$

5.4. PERHITUNGAN BCR

Analisa ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan antara keuntungan dengan biaya proyek.

Dalam perhitungan ini, semua biaya dan keuntungan selama umur proyek dijadikan nilai sekarang (present worth). Rumus dasar yang digunakan dalam perhitungan nilai sekarang diambil dari buku Rekayasa Pengembangan Sumber Daya Air hal 142-143 sebagai berikut :

$$P = \frac{F}{(1 + i)^n} \quad (5 - 1)$$

$$P = \frac{A ((1 + i)^n - 1)}{i (1 + i)^n} \quad (5 - 2)$$

dimana :

P = Nilai uang sekarang

F = Nilai uang pada n tahun yang akan datang

i = Tingkat bunga

n = Jumlah tahun

A = Nilai pembayaran atau penerimaan tahunan.

$\frac{1}{(1 + i)^n}$ adalah faktor nilai uang sekarang dan $\frac{((1 + i)^n - 1)}{i (1 + i)^n}$

adalah faktor nilai uang sekarang dari tahunan.

Besarnya nilai sekarang biaya pembangunan dihitung dengan persamaan 5-1, sedangkan untuk benefit (keuntungan) selama umur ekonomis proyek selama 50 tahun dihitung dengan persamaan 5-2 setelah itu menggunakan persamaan 5-1 dengan $n = 5$ tahun.

Perhitungannya diuraikan seperti pada tabel 5.2 dan tabel 5.3.

TABEL 5.2 : PERHITUNGAN BIAYA

TAHUN	BIAYA (US \$ 10 ⁶)	FAK. NILAI UANG SEKARANG DENGAN TINGKAT BUNGA 12%	NILAI SEKARANG BIAYA DENGAN DENGAN TINGKAT BUNGA 12%
1	11,73	0,8929	10,47
2	19,55	0,7972	15,59
3	23,46	0,7118	16,70
4	13,64	0,6355	9,74
5	7,82	0,5674	4,44
TOTAL			57,13

TABEL 5.3 : PERHITUNGAN KEUNTUNGAN

TAHUN	KEUNTUNGAN (US \$ 10 ⁶)	FAK. NILAI UANG SEK. dr TAHUNAN TINGKAT BUNGA 12%	NILAI KEUNT. TAHUNAN DGN TINGKAT BUNGA 12%	FAK. NILAI UANG SEKARANG DENGAN TINGKAT BUNGA 12%	NILAI SEKARANG KEUNT. DENGAN TINGKAT BUNGA 12%
1 s/d 5	-	-	-	0,5674	80,30
6 s/d 57	17,04	8,305	141,52	-	-
TOTAL					80,3

Untuk $i = 12\%$, $BCR = 80,30/57,13$
 $= 1,41$

5.5. ALTERNATIF PEMBANGKIT TENAGA LISTRIK

Untuk membangkitkan tenaga listrik dapat dilakukan beberapa cara. Maka perlu diselidiki juga mana yang lebih menguntungkan antara mendirikan suatu sentral thermis (diesel, uap, nuklear) dengan mendirikan pusat listrik tenaga air.

Berdasarkan investasinya, investasi tenaga air lebih besar dibandingkan investasi sentral thermis, sedangkan biaya pemeliharaan tenaga air lebih kecil dibandingkan dari biaya pemeliharaan sentral thermis. Oleh karena itu yang menentukan adalah biaya pembangkitannya (biaya per kWh).

Sebagai alternatif PLTA Besai dengan kapasitas 32,7 MW maka dipilih pembangkit thermal (PLTU) dengan kapasitas 50 MW (berdasarkan lampiran 6)

5.5.1. PERHITUNGAN BIAYA PEMBANGKITAN PLTU

Untuk menghitung biaya pembangkitan PLTU, sebagai pegangan digunakan buku " *Guidance on pre feasibility study of hidropower schemes* " PLN.

Dari lampiran 7, dengan menggunakan alternatif diesel kapasitas 50 MW didapatkan :

-
- Biaya bahan bakar : 48 US \$/ton
 - Kandungan kalori : 5300 kcal/kg
 - efisiensi thermal : 30%
 - Biaya O & M per tahun : 2% dari biaya bahan bakar dan 0,06 US \$/kWh.

Produksi energi per tahun :

$$\begin{aligned} & \sim 1 \text{ kWh} = 860 \text{ kcal} \\ & - E = 206,22 \cdot 10^6 \text{ kWh} \\ & \quad = 206,22 \cdot 10^6 \times 860 \\ & \quad = 177349,20 \cdot 10^6 \text{ kcal} \end{aligned}$$

Kebutuhan bahan bakar per tahun :

$$\begin{aligned} & = \frac{177349,20 \cdot 10^6 \text{ kcal}}{5300 \times 0,30 \text{ kcal/kg}} \\ & = 111540377,40 \text{ kg} = 111540,38 \text{ ton} \end{aligned}$$

Biaya bahan bakar per tahun :

$$\begin{aligned} & = 48 \text{ US \$ / ton} \times 111540,38 \text{ ton} \\ & = \text{US \$ } 5353938,24 \end{aligned}$$

Biaya O & M per tahun :

$$\begin{aligned} & = 2\% \times \text{biaya bahan bakar} + 0,06 \times \text{produksi energi} \\ & = 0,02 \times 5353938,24 + 0,06 \times 206,22 \cdot 10^6 \\ & = \text{US \$ } 12480278,76 \end{aligned}$$

Maka biaya per tahun :

$$\begin{aligned}
 &= \text{biaya bahan bakar} + \text{biaya O \& M} \\
 &= 5353938,24 + 12480278,76 \\
 &= \text{US \$ } 17834217
 \end{aligned}$$

Jadi biaya pembangkitan PLTU :

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\text{biaya per tahun}}{\text{energi per tahun}} \\
 &= \frac{17834217}{206,22 \cdot 10^6} \\
 &= 0,09 \text{ US \$/kWh}
 \end{aligned}$$

5.5.2. PERHITUNGAN BIAYA PEMBANGKITAN PLTA

Seperti yang telah dihitung pada sub bab 5.2. biaya total pembangunan PLTA adalah sebesar US \$ $78,19 \cdot 10^6$.

Biaya pembangunan per tahun dengan umur ekonomis PLTA 50 tahun serta dengan suku bunga 12% per tahun adalah :

$$A = f_{cr} \times P$$

dimana :

A = Biaya pembangunan per tahun

f_{cr} = faktor pengembalian modal

$$= \frac{i (1 + i)^n}{(1 + i)^n - 1} = \frac{0,12 (1 + 0,12)^{50}}{(1 + 0,12)^{50} - 1} = 0,1204$$

P = Biaya pembangunan total

Biaya O & M 1% dari biaya pembangunan.

Maka biaya tahunan :

$$\begin{aligned} A &= \text{Biaya pembangunan} \times f_{cr} + 1\% \times \text{biaya pembangunan} \\ &= 78,19 \cdot 10^6 \times 0,1204 + 0,01 \times 78,19 \cdot 10^6 \\ &= \text{US \$ } 10,20 \cdot 10^6 \end{aligned}$$

Produksi energi per tahun = $206,22 \cdot 10^6$ kWh

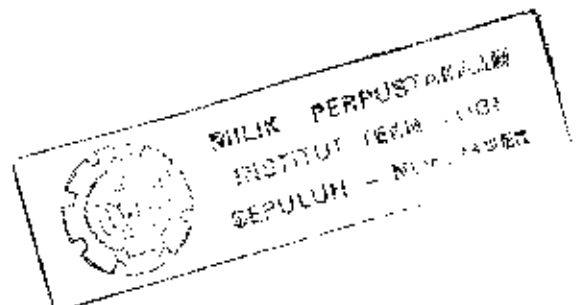
Jadi biaya pembangkitan PLTA :

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{biaya tahunan}}{\text{energi per tahun}} \\ &= \frac{10,20 \cdot 10^6}{206,22 \cdot 10^6} \\ &= 0,05 \text{ US \$/kWh} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan diatas dapat dilihat bahwa :

- Biaya pembangkitan PLTU sebesar 0,09 US \\$/kWh
- Biaya pembangkitan PLTA sebesar 0,05 US \\$/kWh

Jadi dapat disimpulkan bahwa membangun PLTA lebih menguntungkan dibanding dengan membangun PLTU.



BAB VI

KESIMPULAN

Sesuai dengan keadaan topografi dan geologi yang ada, pada sungai Besai dapat dibangun suatu PLTA dengan memanfaatkan penampang memanjang sungai itu sendiri dengan head yang besar.

Didalam studi pendahuluan PLTA Besai ini, akhirnya dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut :

1. Dengan adanya proyek PLTA Besai diperkirakan dapat memberikan tambahan energi sebesar 206,22 GWh setahun, dengan daya 32,7 MW, besaran ini diperoleh berdasarkan :
 - Debit pembangkitan (Q_p) = $17 \text{ m}^3/\text{dt}$
 - Tinggi jatuh efektif = 233,64 m
 2. Bendung PLTA Besai direncanakan berdasarkan debit banjir rencana dengan periode ulang 100 tahun sebesar $1004,07 \text{ m}^3/\text{dt}$. Debit banjir ini diperoleh dari analisa hidrologi data curah hujan harian di stasiun Air Hitam, Pajar Bulan, Rawa Bebek, Skincau, Sumberjaya dan Bungin. Untuk menghitung hujan rencana dipakai cara Gumbel, sedangkan hidrograf banjir ditentukan dengan hidrograf satuan sintetis Nakayatsu.
-

3. Dari hasil perhitungan didapat volume tampungan aktif sebesar $0,388 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ dengan elevasi muka air + 720,30 m, umur bendung diperkirakan 50 tahun dengan jumlah volume endapan dalam bendung sebesar $0,0017 \cdot 10^6 \text{ m}^3$.

Sedangkan elevasi batas pengoperasian PLTA Besai ditentukan sebagai berikut :

- Tinggi ambang = + 714,36 m
- MOL = + 717,28 m
- FSL = + 720,30 m
- Intake = + 715,63 m

4. Berdasarkan analisa ekonomi, biaya pembangunan PLTA Besai pada tahun dasar 1991 diperkirakan US \$ $78,19 \cdot 10^6$ dengan masa pelaksanaan selama 5 tahun. Keuntungan bersih yang didapat dari penjualan energi sebesar US \$ 17,04 per tahun. Dengan demikian B/C rasionya 1,41 dengan suku bunga 12%.

Demikian pembahasan tentang studi pendahuluan PLTA Besai dimana detail konstruksinya dapat dibahas pada studi berikutnya.

HYDROLOGICAL ANALYSIS

REDUCED MEAN \bar{Y}

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0.4952	0.4996	0.5035	0.5070	0.5100	0.5128	0.5157	0.5181	0.5202	0.5220
20	.5236	.5252	.5268	.5285	.5296	.530	.5320	.5337	.5345	.5353
30	.5362	.5371	.5380	.5388	.5396	.540	.5410	.5418	.5424	.5430
40	.5436	.5442	.5448	.5455	.5458	.5468	.5468	.5473	.5477	.5481
50	.5485	.5489	.5493	.5497	.5501	.5504	.5508	.5511	.5515	.5518
60	.5521	.5524	.5527	.5530	.5533	.5535	.5538	.5540	.5545	.5545
70	.5548	.5550	.5552	.5555	.5557	.5559	.5561	.5563	.5565	.5567
80	.5569	.5570	.5572	.5574	.5576	.5578	.5580	.5581	.5583	.5585
90	.5586	.5587	.5589	.5591	.5592	.5593	.5595	.5596	.5598	.5599
100	.5600									

REDUCED STANDARD DEVIATION S_n

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0.9496	0.9676	0.9833	0.9971	1.0093	1.0206	1.0316	1.0411	1.0493	1.0565
20	1.0628	1.0696	1.0754	1.0811	1.0864	1.0915	1.0961	1.1004	1.1047	1.1080
30	1.1124	1.1159	1.1193	1.1226	1.1255	1.1285	1.1313	1.1339	1.1363	1.1388
40	1.1413	1.1436	1.1458	1.1480	1.1499	1.1519	1.1538	1.1557	1.1574	1.1590
50	1.1607	1.1623	1.1638	1.1658	1.1667	1.1681	1.1696	1.1708	1.1721	1.1734
60	1.1747	1.1759	1.1770	1.1782	1.1793	1.1803	1.1814	1.1824	1.1834	1.1844
70	1.1854	1.1863	1.1873	1.1881	1.1890	1.1898	1.1906	1.1915	1.1923	1.1930
80	1.1938	1.1945	1.1953	1.1959	1.1967	1.1975	1.1980	1.1987	1.1994	1.2001
90	1.2007	1.2013	1.2026	1.2032	1.2038	1.2044	1.2044	1.2049	1.2053	1.2060
100	1.2065									

RETURN PERIOD A FUNCTION OF REDUCED VARIATE

Return period, years Reduced variate

2	0.3665
5	1.4999
10	2.2502
20	2.9606
25	3.1985
50	3.9019
100	4.6001
200	5.296
500	6.214
1000	6.919
5000	8.339
10000	9.921

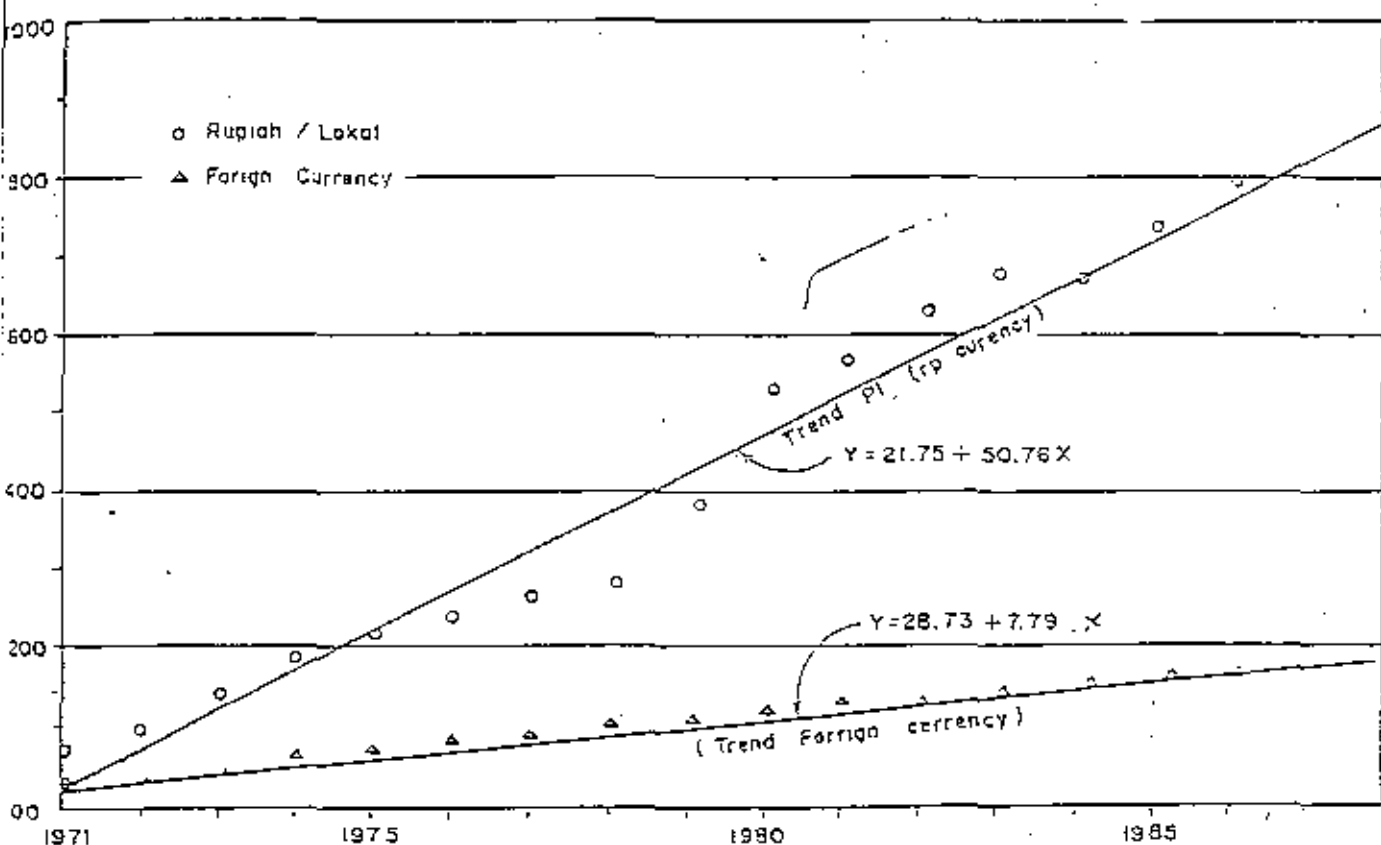
TABLE 7.6 $K_2 = f(C_s, T)$ FOR USE IN LOG-PEARSON TYPE III DISTRIBUTION

Coefficient of skew, C_s	Recurrence interval T in years						
	2	10	25	50	100	200	1000
3.0	-0.396	1.180	2.278	3.152	4.051	4.970	7.250
2.5	-0.360	1.250	2.262	3.048	3.845	4.652	6.600
2.2	-0.330	1.284	2.240	2.970	3.705	4.444	6.200
2.0	-0.307	1.302	2.219	2.912	3.605	4.298	5.910
1.8	-0.282	1.318	2.193	2.848	3.499	4.147	5.660
1.6	-0.254	1.329	2.163	2.780	3.388	3.990	5.390
1.4	-0.225	1.337	2.128	2.706	3.271	3.828	5.110
1.2	-0.195	1.340	2.087	2.626	3.149	3.661	4.820
1.0	-0.164	1.340	2.043	2.542	3.022	3.489	4.540
0.9	-0.148	1.339	2.018	2.498	2.957	3.401	4.395
0.8	-0.132	1.336	1.998	2.453	2.891	3.312	4.250
0.7	-0.116	1.333	1.967	2.407	2.824	3.223	4.105
0.6	-0.099	1.328	1.939	2.359	2.755	3.132	3.960
0.5	-0.083	1.323	1.910	2.311	2.686	3.041	3.815
0.4	-0.066	1.317	1.880	2.261	2.615	2.949	3.670
0.3	-0.050	1.309	1.849	2.211	2.544	2.856	3.525
0.2	-0.033	1.301	1.818	2.159	2.472	2.763	3.380
0.1	-0.017	1.292	1.785	2.107	2.400	2.670	3.235
0.0	0.000	1.282	1.751	2.054	2.326	2.576	3.090
-0.1	0.017	1.270	1.716	2.000	2.252	2.482	2.950
-0.2	0.033	1.258	1.680	1.945	2.178	2.388	2.810
-0.3	0.050	1.245	1.643	1.890	2.104	2.294	2.675
-0.4	0.066	1.231	1.606	1.834	2.029	2.201	2.540
-0.5	0.083	1.216	1.567	1.777	1.955	2.108	2.400
-0.6	0.099	1.200	1.528	1.720	1.880	2.016	2.275
-0.7	0.116	1.183	1.488	1.663	1.806	1.926	2.150
-0.8	0.132	1.166	1.448	1.606	1.733	1.837	2.035
-0.9	0.148	1.147	1.407	1.549	1.660	1.749	1.910
-1.0	0.164	1.128	1.366	1.492	1.588	1.664	1.880
-1.4	0.225	1.041	1.198	1.270	1.318	1.351	1.465
-1.8	0.282	0.945	1.035	1.069	1.087	1.097	1.130
-2.2	0.330	0.844	0.888	0.900	0.905	0.907	0.910
-3.0	0.396	0.660	0.666	0.666	0.667	0.667	0.668

Nilai kritik Δ untuk tes Smirnov Kolmogorov.

$n \backslash \alpha$	0.20	0.10	0.05	0.01
5	0.45	0.51	0.56	0.67
10	0.32	0.37	0.41	0.49
15	0.27	0.30	0.34	0.40
20	0.23	0.26	0.29	0.36
25	0.21	0.24	0.27	0.32
30	0.19	0.22	0.24	0.29
35	0.18	0.20	0.23	0.27
40	0.17	0.19	0.21	0.25
45	0.16	0.18	0.20	0.24
50	0.15	0.17	0.19	0.23
$n > 50$	$\frac{1.07}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.22}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.36}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.63}{\sqrt{n}}$

GAMBAR ANALISA TREND UNTUK PRICE INDEK LOKAL & FOREIGN CURRENCY



Data Indeks Harga & Faktor Eskalasi

Year of estimate	Rupiah Currency		Foreign Currency	
	Price Index /1	Esca. Factor	Price Index /2	Esca. Factor
	(1972=100)		(1980=100)	
1971	87	7.84	32.9	3.70
72	100	5.32	36.4	3.35
73	135	5.05	43.8	3.79
1974	194	3.52	54.5	2.24
75	207	3.39	62.9	1.94
76	230	2.97	64.0	1.91
77	251	2.72	69.0	1.77
78	272	2.51	80.0	1.53
79	392	1.74	90.6	1.35
1980	509	1.34	100	1.22
81	563	1.21	108 ^{/3}	1.13
82	620	1.10	117 ^{/3}	1.04
1983	682 ^{/3}	1.00	122 ^{/3}	1.00

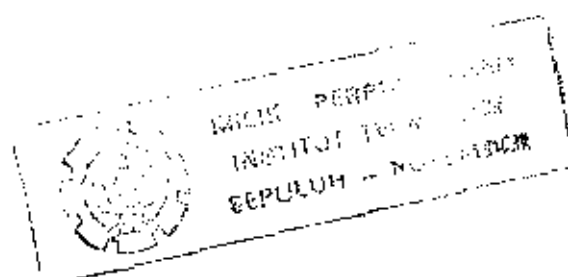
/1 Biro Pusat Statistik, Indikator Ekonomi.

/2 International Price Index 1955 - 1990, IBRD, Jan.80

/3 Estimated by the Study 5-10% escalation rates assumed.

Inst. Cap. of hydro scheme, MW	Assumed Most Competitive Alt.	Inst. Cap. of Most Competitive Alt., MW
Cap \leq 2	Diesel	2
2 < Cap \leq 5	"	5
5 < Cap \leq 10	"	10
10 < Cap \leq 15	Diesel/Gas	15
15 < Cap \leq 30	"	30
30 < Cap \leq 50	Diesel/Coal/Oil	50
50 < Cap \leq 100	Coal/Oil	100
100 < Cap \leq 200	"	200
200 < Cap \leq 400	Coal	400
400 \leq Cap	"	800

LAMPIRAN 6



Type of Plant	Con-struction Cost (US\$/kW)	Con-struction Period (Yr)	Disbursement (%)	Life Time (Yr)	O&M Cost		Fixed Annual Cost (US\$/kW/Yr)	Fuel Price (US\$/kW.h)	Calorific Value (Kcal/kg)	Fuel Cost (US\$/kW.h)	Adjustment Factor	
					Fixed (%)	Variable (US\$/kW.h)					kW	kWh
THERMAL ALTERNATIVE												
Oil-fired Steam Plant												
50 MW	1,140	4	5/30/45/20	30	2	0.06	172	220	10,300	6.80	1,198	1,028
100 MW	925	5	5/25/40/20/10	30	2	"	150	"	"	6.12	"	"
200 MW	750	5	"	30	2	"	124	"	"	5.93	"	"
Coal-fired Steam Plant												
50 MW	1,920	5	5/25/40/20/10	30	2	0.06	290	48	5,300	2.88	1,252	1,039
100 MW	1,560	6	5/20/35/25/10/5	30	2	"	257	"	"	2.60	"	"
200 MW	1,270	6	"	30	2	"	228	"	"	2.51	"	"
400 MW	1,030	6	"	30	2	"	186	"	"	2.43	1,278	1,050
500 MW	840	6	"	30	2	"	150	"	"	2.36	"	"
Gas Turbine Plant												
15 MW	620	2	40/60	25	2.5	0.30	88	310	10,800	10.28	1,148	1,007
30 MW	500	2	"	25	2.5	"	71	"	"	"	"	"
50 MW	430	2	"	25	2.5	"	61	"	"	"	"	"
Diesel Plant												
2 MW	1,300	1	100	20	3	0.20	184	310	10,800	7.26	1,161	1,007
5 MW	990	1	"	20	3	"	140	"	"	"	"	"
10 MW	800	1	"	20	3	"	113	"	"	"	"	"
Geothermal Plant												
25 MW	1,440	4	10/45/35/20	30	2	0.06	213	-	-	4.00	1,171	1,049
50 MW	1,170	4	"	30	2	"	173	-	-	"	"	"
100 MW	950	4	"	30	2	"	141	-	-	"	"	"
HYDROPOWER												
Various class												
	1,000	5	15/25/30/20/10	50	1	-	164	-	-	-	-	-
	1,500	5	"	50	1	-	246	-	-	-	-	-
	2,000	5	"	50	1	-	328	-	-	-	-	-
	2,500	5	"	50	1	-	410	-	-	-	-	-
	3,000	5	"	50	1	-	492	-	-	-	-	-
	3,500	5	"	50	1	-	574	-	-	-	-	-
	4,000	5	"	50	1	-	656	-	-	-	-	-

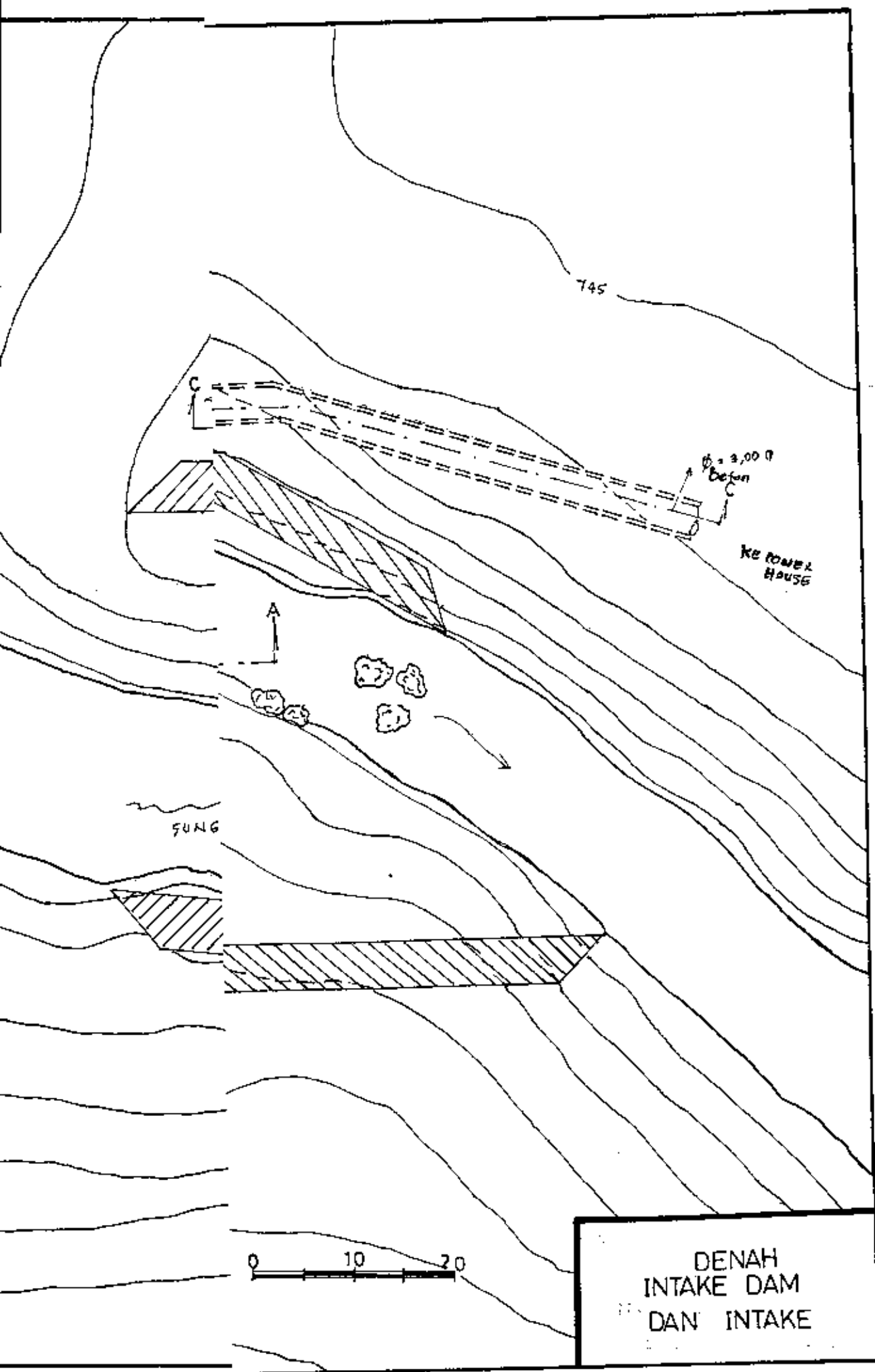
Remark: /1

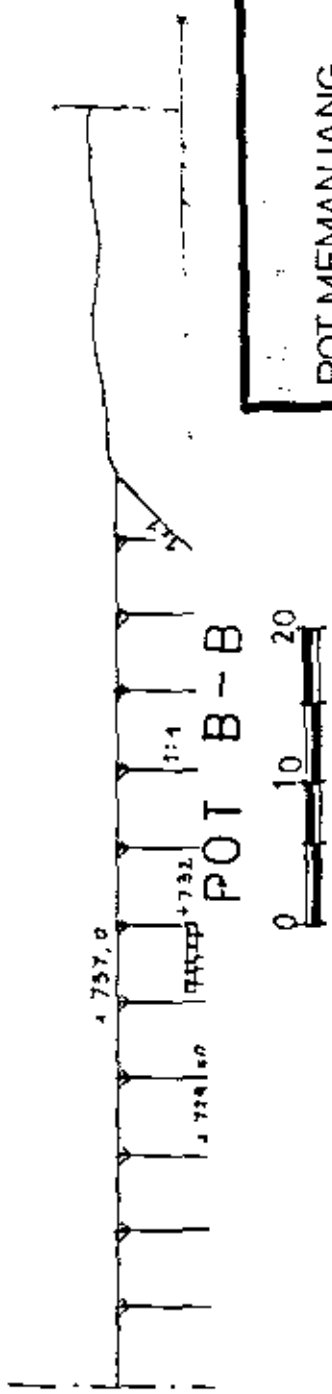
Station Use T/L Loss Forced Outage Scheduled Outage

Thermal (Oil)	6.0 %	2.0 %	7.0 %
Thermal (Coal)	7.0	2.0	8.0
Gas Turbine	7.0	3.0	9.0
Diesel	5.0	1.0	7.0
Geothermal	5.0	2.0	6.0
Hydro	5.0	5.0	5.0
	0.3	3.0	0.5

LAMPIRAN 7

/2 Discount rate : 12%

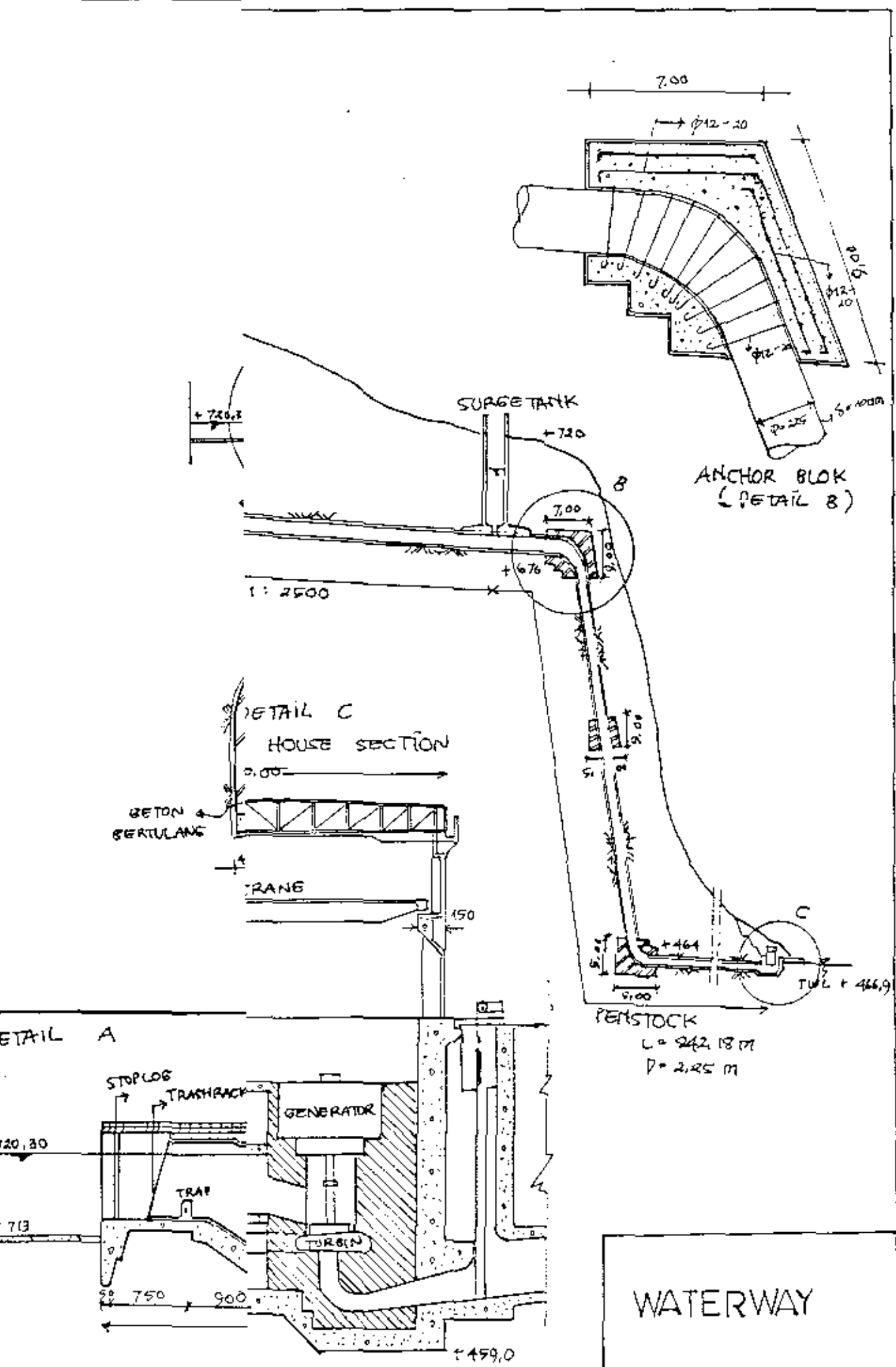




POT.MEMANJANG
DAN
POT.MELINTANG
INTAKE DAM

FOI - B1B

1990年12月28日



DAFTAR PUSTAKA

- DR. A. Arismunandar & DR. S. Kuwahara, *Teknik Tenaga Listrik*, Jilid I, PT Pradnya Paramita Jakarta, 1975.
- Ir. D.F. Patty, *Diktat Tenaga Air*, Universitas Kristen Petra Surabaya.
- Ir. Dehadijono, *Diktat Tenaga air*, Universitas Hasanuddin Ujung Pandang.
- Ir. Suyono Sosrodarsono, *Hidrologi untuk Pengairan*, PT Pradyna Paramita Jakarta, 1977.
- Ir. Iman Subarkah, *Hidrologi untuk Perencanaan Bangunan Air*, Idea Dharma Bandung, 1978.
- K. Subramanya, *Engineering Hydrology*, McGraw - Hill Publishing Company Limited New Delhi, 1984.
- Ir. Sri Harto , *Mengenal Dasar Hidrologi Terapan*, KMST, UGM, Yogyakarta, 1981
- Ir. CD. Soemarto, BIE, Dipl II., *Hidrologi Teknik*, Usaha Nasional Surabaya, 1987.
- Ir. Joesron Loebis, M.Eng., *Banjir Rencana untuk Bangunan Air*, DPM, Dirjen Pengairan, Departemen Pekerjaan Umum, 1984.
- Ir. M. Sholeh, *Diktat Hidrologi*, FTSP - ITS Surabaya.
- Ir. Nadjadji Anwar, MSc, *Rekayasa Pengembangan Sumber Daya Air*, Kartika Yudha Surabaya, 1986.
-

- Ir. Anggrahini, MSc, *Hidrolika*, FTSP - ITS Surabaya, 1986.
- Ir. Bambang Suejadi, Dipl HE, *Sediment Transport*, FTSP - ITS Surabaya.
- K. G. Ranga Raju, *Flow Through Open Channels*, McGraw - Hill Publishing Company Limited, 1981.
- Ray K. Linsley, *Water Resources Engineering*, McGraw - Hill. Inc., 1979.
- MM. Dandekar & KN. Sharma, *Water Power Engineering*, Vikas Publishing House. PVT Ltd New Delhi, 1979.
- USBR, *Design of Small Dams*, Oxford & IBH Publishing Co New Delhi, 1979.
- Anonymous, *Kriteria Perencanaan Proyek PLTA tahap Pre Feasibility Study*, Volume I, PT Indra Karya Consulting Engineers, 1985.
- Anonymous, *Design Kriteria and Cost Estimate for 3Rd Screening Evaluation*, Nippon Koei, Co Ltd, Tokyo 1984
-